LES BALLONS

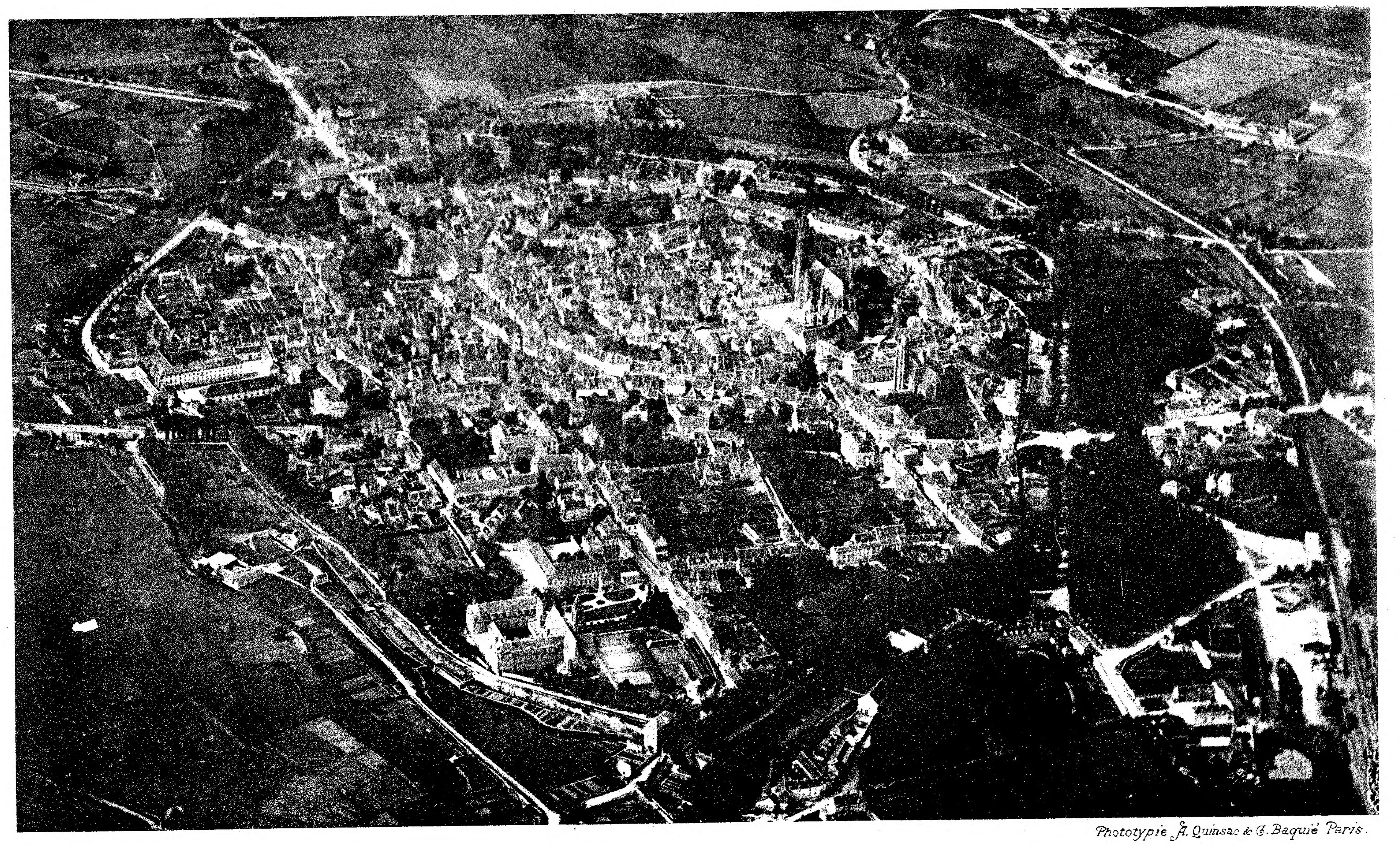
ET

LEUR EMPLOI A LA GUERRE

DE LA MÊME SÉRIE

L'hydrogène et ses applications en aéronautique, par M. le capitaine ESPITALLIER.

1842-88. — CORBEIL. Imprimerie CRÉTÉ



Phototypie A. Quinsac & G. Baqué Paris.

VUE PANORAMIQUE DE LA VILLE DE SENLIS

PETITE BIBLIOTHÈQUE AÉRONAUTIQUE

LES BALLONS

ET

LEUR EMPLOI A LA GUERRE

PAR

G. ESPITALLIER
CAPITAINE DU GÉNIE
COMMANDANT LA 4e COMPAGNIE D'AÉROSTIERS

Avec planches et figures dans le texte

PARIS
G. MASSON, ÉDITEUR
120, Boulevard Saint-Germain, en face de l'École de Médecine.

[1889]

LES BALLONS

ET

LEUR EMPLOI A LA GUERRE (1)

I. — Un mot d'introduction.

Malgré ses origines lointaines, l'aéronautique est une science toute nouvelle. Elle commence à peine à se créer un corps de doctrines, grâce à un petit nombre de savants français qui, par leurs efforts persévérants, lui ont conquis droit de cité à l'Académie des sciences, où l'on discute aujourd'hui de la direction des ballons après en avoir doctement médit autrefois.

Ce n'est pas d'hier que l'homme rêve la conquête de cet infini du ciel qui lui cache tant de mystères; mais jusqu'en 1783, les inventeurs s'étaient épuisés dans de vaines recherches, à la poursuite de la sustentation du *plus lourd que l'air*. Nous sommes bien loin, encore aujourd'hui, de cette solution du

---

(1) Conférence faite à Grenoble aux officiers de la garnison.

problème, et ce n'est pas dans cette voie que le but devait être atteint tout d'abord.

L'ère de la légende prit fin le jour où les frères Montgolfier, d'Annonay, ayant construit un globe en toile recouverte de papier, allumèrent de la paille sous son orifice inférieur.

L'air qu'il contenait se dilata ; plus léger que l'atmosphère ambiante, il parvint à soulever le globe tout entier, la *Montgolfière*, comme on devait l'appeler dès lors. Cette expérience si simple, si probante, eut lieu le 5 juin 1783 ; elle produisit un enthousiasme indescriptible, dont on trouve la trace dans les écrits du temps.

Il semblait que, d'un seul bond, l'homme venait de franchir les limites du vieux monde ; l'Océan aérien s'ouvrait devant lui et lui appartenait. Il allait enfin le parcourir en tous sens, plus facilement sous son globe fragile, que le marin ne franchit les mers sur son navire.

On s'aperçut bien vite qu'on s'était trop hâté de pressentir d'aussi merveilleux résultats d'une découverte à peine éclose.

Loin de ressembler au navire, qui se dirige et gouverne en orientant ses voiles, parce qu'il est sur la surface de séparation de deux fluides inégalement denses, et qu'il peut se servir de l'un, en prenant appui sur lui, pour lutter contre l'autre, le globe aérostatique au contraire, placé dans un milieu homogène, est entraîné avec le fluide qui le baigne de toutes parts : les vents l'emportent où ils vont eux-mêmes, sans lutte possible.

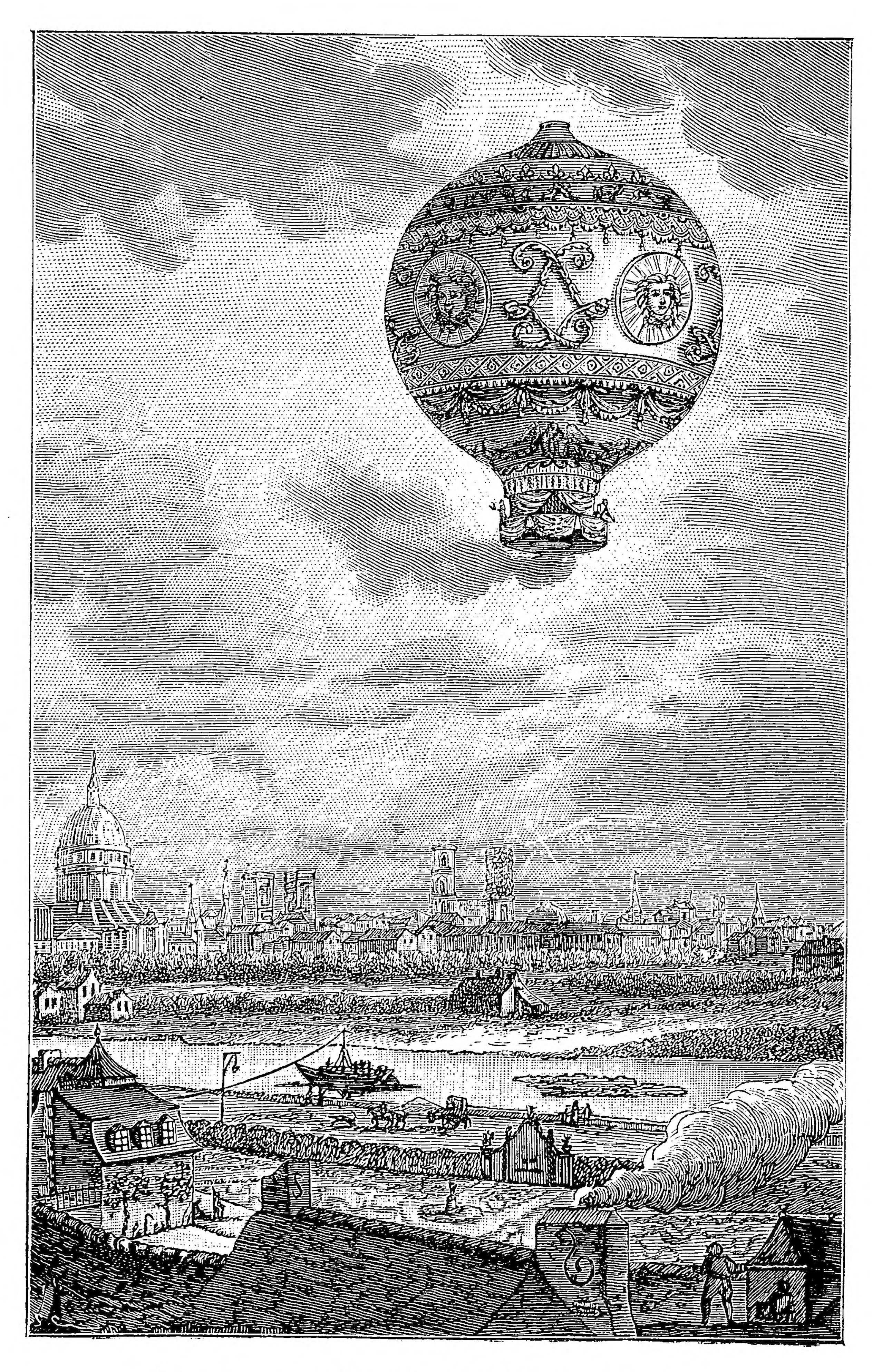


Fig. 1. — Ascension de Pilâtre de Rozier.

Quelques accidents, et la désillusion fut complète. L'enthousiasme de la première heure était allé jusqu'au délire; le désenchantement fit tomber la découverte dans un injuste discrédit.

A part quelques audacieux dont les noms figurent, pour la plupart, au martyrologe de l'aérostation, personne ne s'en occupa plus; on n'y vit plus qu'un frivole amusement; et si les savants songèrent aux ballons, ce ne fut que pour leur demander un moyen de transport vers ces régions inexplorées qu'ils brûlaient de sonder (1).

Voilà pourquoi, depuis l'époque où Pilâtre de Rozier et le marquis d'Arlandes s'élevaient, les premiers, dans une Montgolfière; depuis le jour où le physicien Charles utilisait, pour remplacer l'air chaud, un gaz récemment découvert, l'hydrogène, et gonflait le premier réel aérostat, nous avons parcouru plus d'un siècle sans que les procédés des créateurs de l'aérostation se soient sensiblement perfectionnés.

Trois hommes, pourtant, tournaient vers le séduisant problème de la direction des ballons leurs aptitudes diverses; trois hommes célèbres à des titres différents, le général Meusnier, Henry Giffard

(1) Principaux voyages scientifiques de :

Robertson et Lhœst,	en 1804,	altitude	7,400	mètres.
Gay-Lussac et Biot,	1804	—	6,500	—
Barral et Bixio,	1850	—	7,004	—
Glaisher et Coxwell,	1861-62	—	7 à 8,000	—
Id.	1863	—	6,800	—
Sivel, Crocé-Spinelli et Tissandier,	1875	—	(?)	—

et Dupuy de Lôme, essayèrent de dégager les principes et firent même les premières expériences dont la discussion et la continuation devaient plus tard — tout récemment — conduire des officiers français à la solution indéniable d'une des questions les plus ardues qui aient sollicité le génie de l'homme.

II. — **Un chapitre de physique.**

On sait que *tout corps plongé dans un fluide en reçoit une poussée verticale, dirigée de bas en haut, et précisément égale au poids du fluide déplacé.*

C'est le principe d'Archimède qui, s'appliquant à l'air aussi bien qu'à l'eau, domine toute la théorie des aérostats.

Un corps abandonné au sein d'un fluide est donc sollicité par deux forces antagonistes : son poids qui tend à le faire tomber vers la terre, et la poussée de l'air qui tend à l'en écarter. Il obéira évidemment à la différence de ces deux forces et se déplacera dans le sens de la plus grande : nous sommes plus légers que l'eau et nous flottons ; nous sommes malheureusement plus lourds que l'air déplacé par notre corps, et nous ne saurions nous maintenir, sans autres secours, loin du sol auquel, au demeurant, nous sommes si fort attachés.

Un aérostat est un appareil dont l'ensemble pèse moins que l'air qu'il déplace : la bulle de savon gonflée d'hydrogène en est le prototype imaginé par Tibère Cavallo, et la différence entre le poids de

l'air et le poids total de l'aérostat représente la *force ascensionnelle.*

Toutes les variations qui affectent le poids spécifique de l'air, affectent en même temps la force ascensionnelle ; et il est bon de remarquer, à ce propos, que ce poids spécifique va en diminuant quand on s'élève dans l'atmosphère, en même temps que la *pression* de l'air.

La décroissance de cette pression est une donnée précieuse en aérostation, car elle se lie intimement à la hauteur atteinte dans l'atmosphère ; dans la limite des faibles altitudes où l'homme peut vivre (8,000 mètres environ), on a pu relier les hauteurs et les pressions correspondantes par une loi suffisamment précise. En sorte que le baromètre, qui donne les pressions, indique en même temps les altitudes, et se trouve être le plus utile auxiliaire de l'aéronaute aussi bien que de l'intrépide escaladeur de montagnes (1).

* * *

L'idée qui se présente le plus naturellement quand

---

(1) Ce sont les ascensions en montagnes qui ont fourni les premières données sur la loi barométrique, c'est-à-dire sur la règle de décroissance de la *pression* avec l'*altitude.*

Laplace a établi la formule complète qui relie ces deux éléments, en tenant compte des variations dues aux circonstances climatériques.

Babinet, enfin, a modifié cette formule pour l'approprier aux opérations du nivellement tel qu'on peut l'effectuer avec un baromètre.

il s'agit d'imaginer un aérostat, c'est de faire le vide dans un récipient, s'il était possible de constituer des parois suffisamment légères et susceptibles à la fois de résister à la pression atmosphérique qui s'exerce extérieurement sans être équilibrée par aucune tension intérieure; cette pression n'est pas inférieure à 1 kilogramme par centimètre carré (1).

On tourne la difficulté en remplissant le récipient d'un gaz léger auquel on conserve une tension au moins égale à celle que l'air lui oppose extérieurement. L'enveloppe n'a plus à résister qu'à l'effet de traction produit par le faible excès de pression intérieure : elle peut donc être en étoffe légère et souple.

Quant au gaz employé, c'est de l'air chaud dans les montgolfières; plus généralement, c'est de l'hydrogène ou du gaz d'éclairage.

*
* *

Tandis que 1 mètre cube d'air pèse moyennement 1^{kil},290, le poids de 1 mètre cube de gaz d'éclairage

---

(1) Dans la nombreuse phalange des inventeurs de *ballons à vide*, on doit compter un réel savant, Marey-Monge, qui poussa fort loin, du reste, sa tentative. Pour construire son aérostat, il appliquait des feuilles de cuivre minces comme du clinquant sur une ingénieuse charpente mécanique dont toutes les pièces devaient ensuite se démonter et se retirer par l'appendice.

Il est inutile, sans doute, d'ajouter que lorsque cette œuvre de patience fut assez avancée, la pellicule métallique s'effondra et se mit en pièces.

est de 680 grammes et le même volume d'hydrogène pèse 90 grammes.

Ce qui donne pour la force ascensionnelle de chacun de ces gaz, respectivement, par différence :

610 grammes pour le premier,
1,200 — pour le second.

Cela revient à dire, en chiffres ronds, que 1 mètre cube d'*hydrogène usuel* peut enlever 1 kilogramme, tandis que 1 mètre cube de gaz d'éclairage ne peut enlever que 600 grammes.

On voit combien, à ce seul point de vue, l'hydrogène est plus avantageux.

Les chiffres que je donne là sont des chiffres moyens, pas autre chose ; rien n'est plus variable, en effet, que le poids spécifique d'un gaz. Tout contribue à le modifier : son degré de pureté ; le lieu géographique, avec lequel varie la gravité ; la température, qui dilate ou contracte les gaz ; l'état hygrométrique, qui les charge de vapeur d'eau, et surtout l'altitude, qui fait varier, comme nous l'avons vu, la colonne d'air superposée, c'est-à-dire la pression atmosphérique.

III. — **Le rôle militaire des ballons.**

Les ballons ont leur emploi tout indiqué à la guerre, où l'on recherche les observatoires élevés. On ne saurait en avoir de plus avantageux que cette nacelle suspendue à 4 ou 500 mètres du sol, cons-

tamment à la disposition du combattant, à l'emplacement le plus favorable. A cette hauteur, on découvre merveilleusement le terrain, jusqu'à la distance de bonne portée des meilleures lunettes. Les mouvements de troupes, ceux-là mêmes qui s'effectuent à l'abri d'un rideau de bois et des accidents du sol, se dessinent nettement, comme sur une carte parfaite.

C'est sous la première république qu'à l'inspiration de Guyton de Morveau, on songea, pour la première fois, à utiliser les ballons en campagne.

Deux compagnies d'aérostiers furent successivement formées et envoyées aux armées, sous le commandement de Coutelle, tandis que des ateliers de fabrication et une école d'aérostation étaient créés à Meudon, sous la direction de l'habile chimiste et physicien Conté.

Nous serions entraînés trop loin par l'historique de leur intervention salutaire à Maubeuge, à Charleroi, à Fleurus (1), où ils rendirent de grands services, mais au prix de quels efforts ! Les aérostiers de Coutelle surmontèrent tous les obstacles avec une opiniâtreté et une abnégation toutes militaires.

C'est leur souvenir, sans doute, qui poussa quel-

---

(1) Le ballon de Fleurus, l'*Entreprenant,* avait 27 pieds de diamètre, soit 8 mètres environ. Le jour de la bataille, il resta près de dix heures en l'air, et le général Morlot, qui se trouvait dans la nacelle avec Coutelle, ne cessa pas un instant de tenir Jourdan au courant des moindres mouvements des Autrichiens.

ques intrépides aéronautes (1) à créer, pendant la seconde partie de la guerre franco-allemande, un parc de ballons captifs attaché à l'armée de la Loire.

Les échecs successifs de cette vaillante armée empêchèrent d'obtenir les résultats qu'on en pouvait attendre ; mais ces résultats entrevus ne permettaient plus d'abandonner cette question. Dans ce même domaine national de Meudon qui avait abrité jadis les premiers aérostiers de Coutelle et de Conté, se fondèrent de nouveaux ateliers, une nouvelle école d'aérostation; tandis que les capitaines Renard et Krebs poursuivaient fiévreusement la solution de leur grand problème de la direction des ballons, ils établissaient en même temps un parc aérostatique d'armée dont l'ensemble a fait ses premières armes au Tonkin, sous une forme réduite par la nécessité de le rendre mobile dans un pays dépourvu de routes.

Les ateliers de Chalais-Meudon surent improviser très rapidement ce matériel léger dont le transport devait uniquement se faire à bras. Le mode lui-même de préparation de l'hydrogène fut modifié de manière à ne plus nécessiter de voiture. Le ballon ainsi équipé put arriver pour coopérer à la prise de Bac-Ninh (mars 1884) et aux opérations qui suivirent, jusqu'au 1er février 1885.

Un parc complet, après avoir figuré aux manœuvres de 1880-81-82 et 1883, s'est très brillamment

(1) Parmi lesquels MM. G. et A. Tissandier, Mangin, Duruof et Bertaux.

comporté aux grandes manœuvres de l'année 1886. Après des marches longues et difficiles qui ont démontré sa mobilité, le ballon est venu s'établir, le jour de la bataille, à 500 mètres du général en chef, auquel le reliaient quatre cavaliers seulement. Un vent très fort donnait au câble une inclinaison telle que la nacelle ne se trouvait pas à plus de 80 mètres d'altitude. Malgré cela, le rayon d'observation s'étendit à plus de 5 kilomètres, et les renseignements transmis par le téléphone au poste de terre, et de là au général, par les plantons à cheval, lui parvinrent toujours vingt minutes avant ceux de la cavalerie.

Aujourd'hui, le service d'aérostation militaire est définitivement organisé, et pourvu de tous les moyens d'investigation. Il n'est pas jusqu'aux procédés photographiques que l'on n'utilise pour fixer le résultat des reconnaissances. Outre la belle photographie exécutée au-dessus de Senlis qui forme le frontispice de ce travail, nous donnons ici une curieuse épreuve obtenue à Grenoble au moment du passage du Président de la République.

*
* *

Si les ballons captifs sont de très précieux auxiliaires en campagne, on peut, dans la guerre de siège, attendre les plus grands services des aérostats libres, sans parler des engins dirigeables; il suffit, pour s'en convaincre, de rappeler leur rôle dans Paris investi, d'où soixante-quatre ballons purent sortir et franchir les lignes ennemies, emportant



Fig. 2. — Le cortège du président Carnot à Grenoble (photographie prise en ballon).

900 kilogrammes de dépêches, alors que le matériel construit à la hâte était confié à un personnel absolument inexpérimenté.

Afin que ces défauts d'une organisation improvisée ne se présentent plus qu'exceptionnellement, il est indispensable de préparer, dès le temps de paix, le matériel nécessaire et un personnel exercé.

La France a eu l'initiative de cette innovation, entraînant à sa suite la plupart des autres grandes nations.

Les Anglais ont employé avec succès les ballons captifs au Soudan. Les Allemands s'organisent sans bruit. Les Russes et les Italiens, les Chinois eux-mêmes, s'adressant à l'industrie française, ont fait construire à Paris un parc de ballons, qui est visiblement inspiré de celui de Meudon (1), sans que la copie soit pourtant un perfectionnement de l'original.

Les ballons italiens ont eu récemment l'occasion de s'essayer à leur rôle militaire devant Massaouah, où le transport de l'hydrogène à l'état comprimé dans des tubes d'acier, a donné surtout d'excellents résultats.

*
* *

Le rôle des ballons militaires n'est pas limité au service d'observation.

On a essayé, non sans quelque succès — et ces tentatives ne sont qu'à leur début — de les faire ser-

(1) Les premiers appareils de Meudon ont été construits dans l'industrie, ce qui n'a pas permis d'éviter toutes les indiscrétions.

vir à la télégraphie optique. De très curieuses expériences ont eu lieu à l'usine Égasse, à la Villette, et ont prouvé qu'il est possible d'illuminer un globe aérostatique en y enfermant des lampes électriques à incandescence. L'introduction de ces foyers au milieu d'un gaz combustible peut se faire sans aucun danger, si l'on prend toutes les précautions nécessaires.

Il suffit alors d'interrompre le courant et de produire une succession convenue d'éclats longs et courts pour établir un système télégraphique.

Malheureusement, la limite de visibilité semble être de 18 kilomètres; on comprend qu'il faudrait un foyer extraordinairement puissant pour que sa lumière, répartie sur la surface entière du ballon, et forcée de traverser le voile opaque de l'enveloppe, pût port-r beaucoup plus loin.

On aura du reste toujours la ressource d'attacher le foyer lumineux en plein air, au-dessous du ballon; ce qu'il perdra en surface, il le regagnera en puissance, et le plus souvent on y trouvera avantage.

*
* *

On vient enfin d'expérimenter une application nouvelle assez imprévue de l'aérostation.

Les navires de l'air peuvent-ils prêter assistance aux navires de l'eau?

Les ballons peuvent-ils servir à éclairer une escadre et à transmettre des ordres aux bâtiments qui la composent?

Telles sont les questions que les expériences tentées en rade de Toulon (juillet 1888) contribueront à résoudre.

IV. — **Matériel militaire : le ballon.**

Un parc de ballons militaires comprend un certain nombre de voitures, trois au minimum, servant au transport des divers engins et à leur manœuvre :

1 voiture d'agrès, dans laquelle on peut *arrimer* les ballons pliés, leurs filets, leurs nacelles, etc. ;

1 treuil à vapeur ;

1 générateur d'hydrogène.

Le ballon lui-même, dans la plupart des parcs, est un globe sphérique de 10 mètres de diamètre, cubant environ 540 mètres. C'est la capacité qui convient pour qu'on puisse enlever deux aéronautes.

L'enveloppe est en soie dite *ponghée* de Chine, étoffe écrue très souple et à grains serrés. Les taffetas de Lyon sont d'une fabrication plus homogène, mais ils ont le tort grave de coûter beaucoup plus cher.

L'intérieur du ballon est revêtu de plusieurs couches d'un vernis dont le choix et la fabrication doivent faire l'objet de la plus délicate attention. Il importe, en effet, que l'on puisse conserver longtemps l'aérostat tout gonflé pendant les opérations de l'armée qu'il est chargé d'éclairer. Les aérostiers de Coutelle ont ainsi traîné leur ballon pendant des périodes de deux mois à leur suite, sans avoir besoin de le regonfler.

Cela prouve l'excellence du vernis de Conté (1). Le vernis actuel de Meudon permettrait certainement de renouveler cet exploit.

Le vernissage et le raccommodage demandent les plus grandes précautions; les hommes n'approchent de cette fragile enveloppe que chaussés de lisière et gantés; car le moindre coup d'ongle peut provoquer une déchirure qui, pour imperceptible qu'elle puisse être, laisserait échapper le gaz et nous priverait rapidement de toute force ascensionnelle.

Aux deux pôles, les extrémités des fuseaux sont recouvertes de collerettes en même étoffe. Celle du pôle supérieur est reliée solidement à la gorge d'une soupape permettant de laisser échapper du gaz au gré du pilote. L'orifice inférieur reçoit, pour le gonflement, un *appendice* ou *manche* en soie.

La soupape placée au pôle supérieur du ballon est un des appareils sur lesquels l'aéronaute doit porter le plus d'attention; l'étanchéité doit en être parfaite et la manœuvre facile. Sauf variantes légères, cette soupape se compose de deux volets s'ouvrant vers l'intérieur du ballon et maintenus fermés par des ressorts.

Une cordelette attachée aux volets descend à travers le ballon jusqu'à la nacelle, à portée de la main. Dans la manœuvre, l'aéronaute est obligé de

---

(1) Le vernis de Conté était à base d'huile de lin siccative. On y ajoutait des matières susceptibles de leur donner du liant : caoutchouc, cire, glu; les deux premières nécessitaient un dissolvant tel que l'essence de térébenthine; et l'on étendait le tout au moyen d'huile de lin.

se suspendre, pour ainsi dire, à cette corde; il n'est pas possible, on le comprend, d'évaluer le degré d'ouverture des volets, ni, par suite, la quantité de gaz qui s'écoule à chaque coup de soupape. Il est très difficile, enfin, d'assurer la parfaite étanchéité de ces soupapes : cela est si vrai qu'on en était arrivé autrefois à *luter* le joint, au départ, au moyen d'un

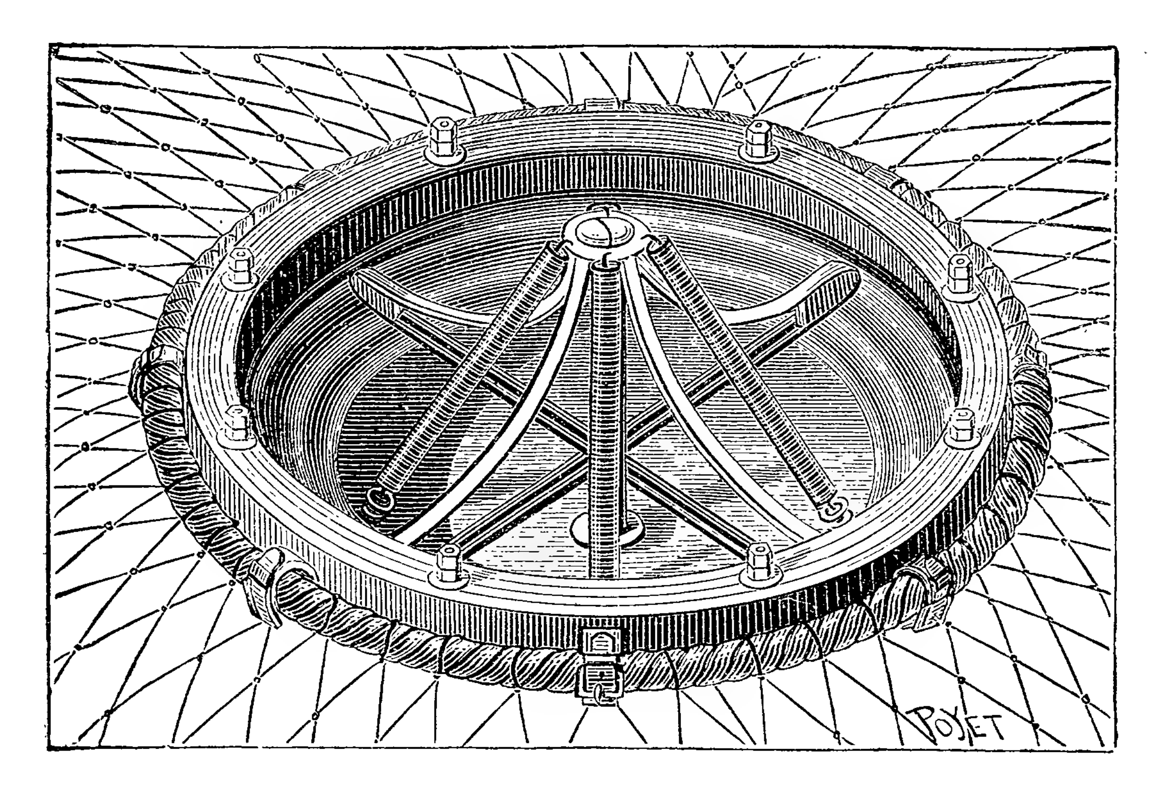


Fig. 3. — Soupape à ressorts métalliques.

cataplasme de farine de graine de lin (tel est le nom caractéristique qu'il lui faut conserver).

C'est à cette circonstance qu'a été dû l'accident survenu au grand aérostat l'*Univers*, dans lequel Godard enlevait, en 1875, de nombreux passagers, parmi lesquels figuraient le colonel Laussedat et le capitaine Renard. On crut devoir, au cours de l'ascension, donner un léger coup de soupape : malheureusement, le lut s'était durci et se brisa fort irrégulièrement,

en sorte que la soupape ne put se refermer complètement. Par cette énorme ouverture, qui n'avait pas moins d'un mètre de diamètre, et malgré qu'elle ne fût qu'entre-bâillée, le gaz s'échappait à flot : l'aérostat s'abattit brusquement et presque tous les passagers furent grièvement blessés.

La mécanique a fait des progrès : le cataplasme a fait place à un obturateur en caoutchouc qui donne de bons résultats, paraît-il. Mais le capitaine Renard, qui avait eu une jambe cassée lors de la chute de l'*Univers*, trouva dans cet accident matière à de salutaires réflexions ; elles devaient aboutir à la création de l'ingénieuse soupape dont sont dotés les ballons et dont les avantages peuvent se résumer ainsi :

1° Pour les *coups de soupape de manœuvres momentanées*, ouverture *graduée* et *connue ;*

2° Pour l'*atterrissage*, *déclenchement complet*, *rapide* et *sûr*, après lequel on n'a plus à s'occuper de la soupape, ce qui laisse toute liberté au pilote.

V. — **La suspension.**

Voilà donc constitué notre réservoir à gaz. Il s'agit d'y accrocher une nacelle, et le seul moyen actuellement usité — au moins pour les petits ballons sphériques — consiste à se servir d'un intermédiaire : le filet qui recouvre le ballon. Dans certains ballons étrangers, on le fait en chanvre, et pour le mettre à l'abri de l'humidité, on l'enduit d'une préparation de cachou. Les fils de coton ont sur le chanvre

l'avantage d'user moins l'enveloppe, dans les frottements inévitables du filet.

La partie supérieure épouse complètement la forme du ballon; mais à partir d'un parallèle situé légèrement au-dessous de l'équateur, le filet se resserre

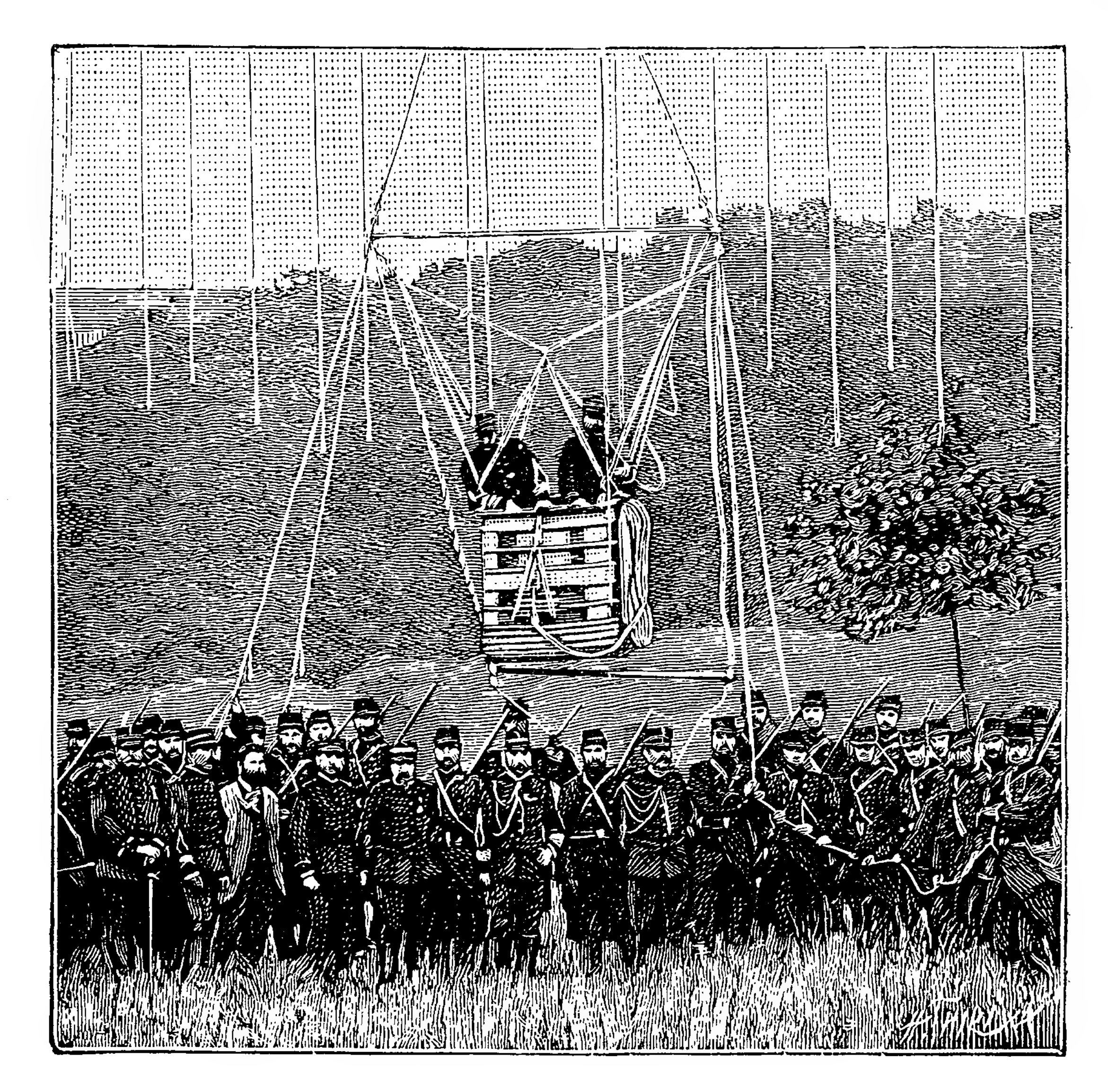


Fig. 4. — Nacelle et suspension française.

en un tronc de cône dont la petite base est constituée par un cercle métallique, le *cercle de filet*.

La nacelle est un panier rectangulaire en osier. L'intérieur est doublé d'étoffe. Elle contient deux petits sièges qui se font face; dans les angles, quatre *soutes* reçoivent les divers engins nécessaires à l'as-

cension : lest, pavillons de signaux, provisions. Aux grands côtés sont accrochés des portefeuilles et les téléphones dont les fils sont enroulés autour du câble de retenue, ou peuvent former l'âme de ce câble lui-même.

Comme il faut tout prévoir, même le cas absolument improbable d'une rupture de câble qui transformerait l'ascension captive en ascension libre impromptue, la nacelle emporte toujours son ancre accrochée extérieurement au bout d'un cordage de 40 mètres soigneusement lové.

La suspension proprement dite, c est-à-dire l'ensemble des cordages qui relient la nacelle au cercle du filet, diffère suivant qu'on arrime pour ascensien captive ou libre; dans les deux cas, le commandant Renard a adopté pour la partie de la suspension qui retient directement la nacelle, un système triangulaire dont Dupuy de Lôme a montré le premier tous les avantages; ce système permet d'éviter les déformations qui auraient pour résultat de reporter le poids de la nacelle sur un petit nombre de cordages susceptibles de se rompre sous l'effort.

*
* *

Lorsqu'on veut établir la suspension d'un ballon captif, on se heurte à la difficulté d'attacher le câble de retenue sans nuire à la stabilité de la nacelle.

Sous l'effort du vent, en effet, tout l'ensemble du ballon et de son câble se met dans une direction inclinée; de telle sorte que, si l'on attachait direc-

tement le câble à la nacelle, celle-ci participerait à cette inclinaison et mettrait ses passagers en fâcheuse et désagréable position.

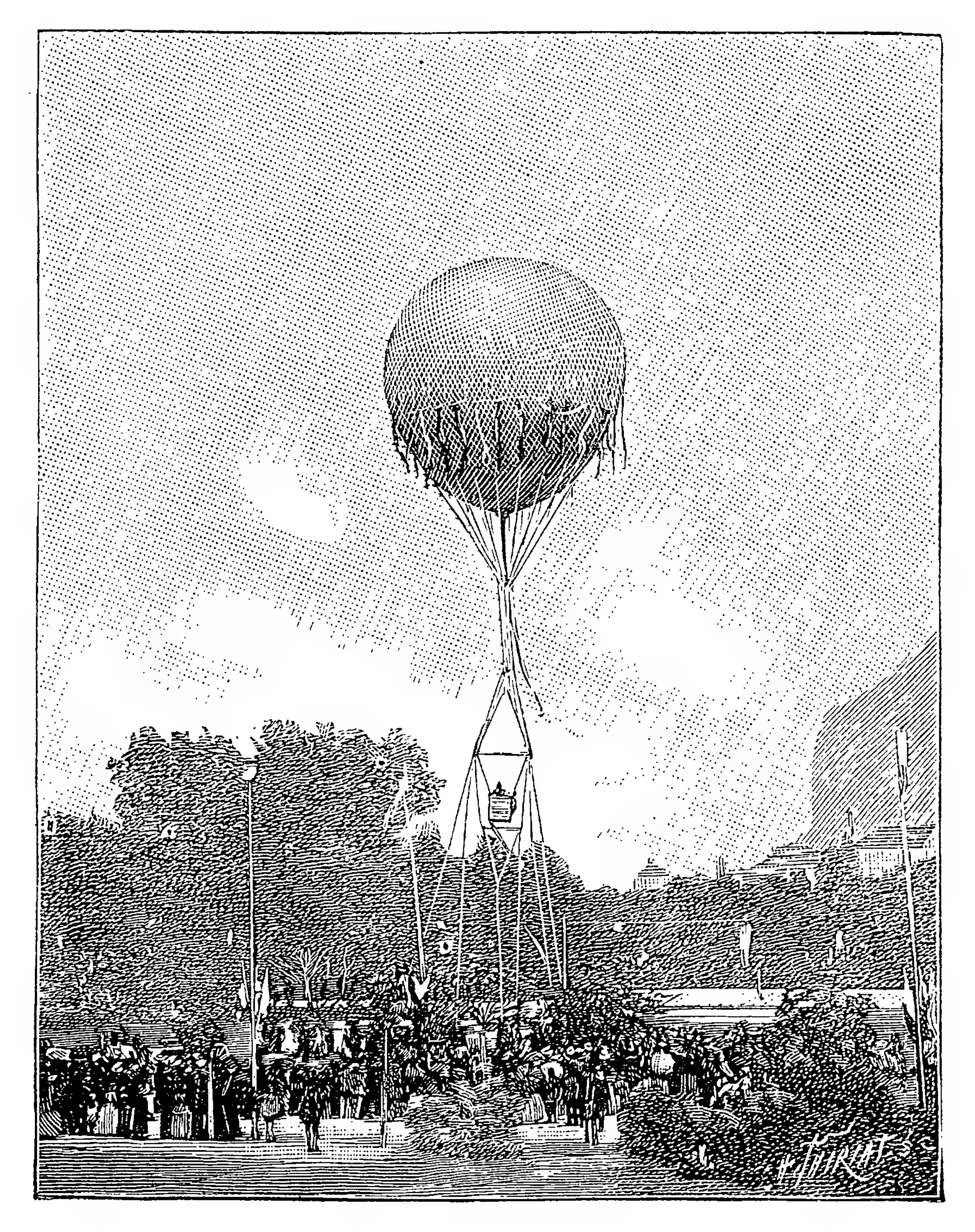


Fig. 5. — Ballon français pavoisé, tenu aux cordes de manœuvres.

Henri Giffard, dans son grand ballon de l'exposition de 1878, avait adopté une ingénieuse disposi-

tion, qui consiste à donner à la nacelle une forme annulaire : le câble passe à l'intérieur et vient s'attacher au nœud central de la suspension elle-même. Ce procédé n'est évidemment applicable qu'aux ballons de très grandes dimensions et serait impraticable avec nos petits paniers où deux passagers trouvent bien juste leur place.

La suspension de 1794 comportait deux câbles attachés par de larges pattes d'oie à la région équatoriale du filet. Deux escouades tenaient chacune l'extrémité d'un de ces câbles, et la nacelle se trouvait ainsi librement suspendue. Mais les différences inévitables de traction sur les deux brins amenaient forcément des secousses désagréables du ballon et de la nacelle.

On adopte aujourd'hui un autre système.

Pour les ballons de petites dimensions, on introduit, sur le trajet de la suspension, un cadre qui a généralement la forme d'un trapèze, au milieu duquel la nacelle est elle-même suspendue et peut se balancer librement. Dans les parcs français, des précautions toutes spéciales sont prises pour assurer, par une bonne disposition de la liaison du trapèze et du filet, la complète stabilité de la nacelle, en s'opposant à sa rotation (1).

Il est intéressant de connaître le poids mort d'un

(1) Cette suspension est une des plus ingénieuses inventions du commandant Renard. Dans plusieurs appareils étrangers, on pourrait facilement montrer que le principe de Dupuy de Lôme et du commandant Renard a été maladroitement appliqué. Mais ce n'est pas à nous, on le comprendra, à signaler ce qui leur manque.

ballon. Celui d'un des premiers aérostats italiens est de 235 kilogrammes.

Il peut contenir environ 550 mètres cubes d'hydrogène, pouvant enlever, par conséquent, un poids total de 550 kilogrammes. En déduisant de ce chiffre le poids mort précédent, augmenté de celui de deux aéronautes — soit 140 kilogrammes — on trouve 175 kilogrammes de force ascensionnelle utile au départ; c'est la quantité de lest qui suffirait à l'équilibrer.

A mesure que le ballon s'élève, il se charge du poids du câble déroulé, qui diminue, bien entendu, d'autant la force ascensionnelle; mais le câble est très léger et ne pèse pas plus de 230 grammes le mètre courant.

VI. — **Le transport.**

Le transport d'un ballon *arrimé* peut se faire à bras; tout d'abord, aux courtes distances, en le faisant tenir par une brigade d'hommes placés aux cordes équatoriales. C'est par ce procédé que Coutelle sortit de Maubeuge, la nuit, passa à travers les Autrichiens et se rendit devant Charleroi. On avait attaché à l'équateur seize cordes très longues, qui permirent de franchir les parapets et les fossés de trois enceintes, des rues resserrées entre les maisons et des lignes d'arbres épais.

Aussitôt que la course est longue, et s'il faut franchir des obstacles, les hommes se portent à quatre

cordes attachées aux extrémités de la grand barre du trapèze.

Mais le transport usuel et pratique se fait au

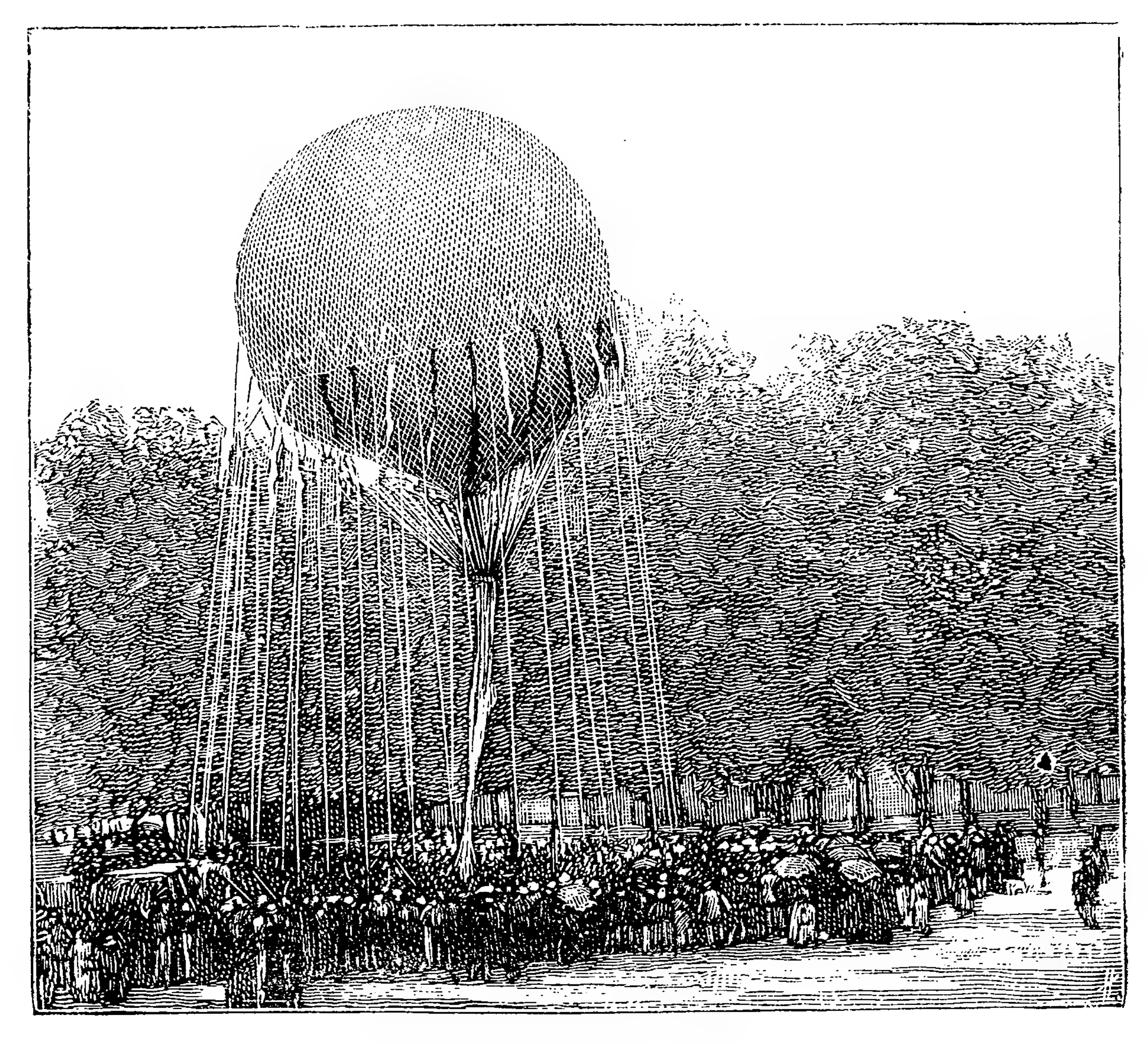


Fig. 6. — Ballon français tenu aux cordes équatoriales.

moyen du câble de 500 mètres fixé à la voiture-treuil et plus ou moins déroulé.

Cette voiture, qui pèse 2,500 kilogrammes environ, comprend une chaudière verticale (1) fournissant la

(1) Toutes les chaudières employées dans les parcs fixes et mobiles sont de l'invention du capitaine Krebs.

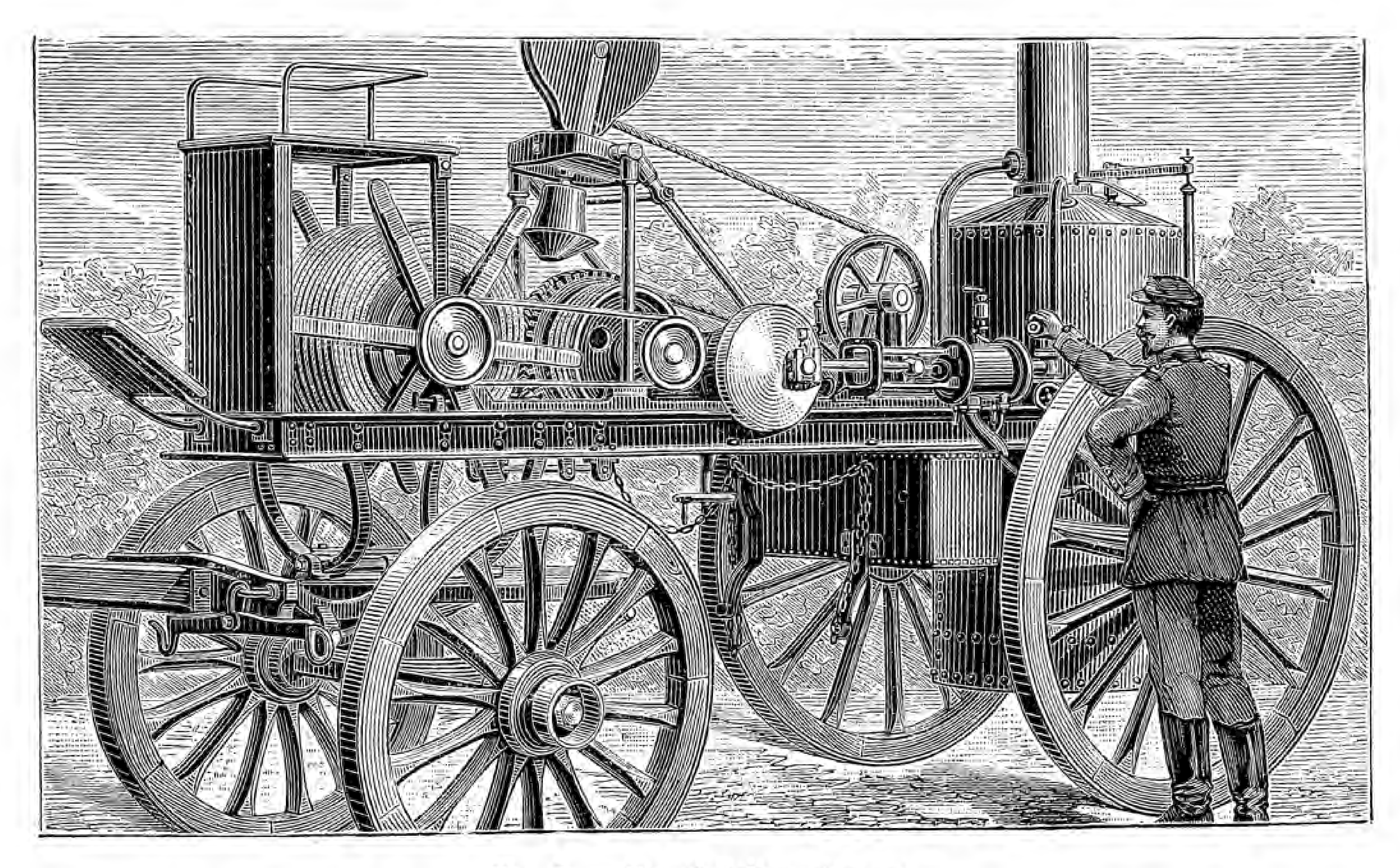


Fig. 7. — Treuil italien et russe.

vapeur aux deux cylindres de la machine motrice. Celle-ci peut développer cinq chevaux de force et actionne les organes d'enroulement. Le câble, en se déroulant, passe sur une poulie à *mouvement universel*, qui peut le suivre dans toutes les inclinaisons que lui donne l'aérostat sous l'action du vent. Un frein limite la vitesse du mouvement.

*
* *

La voiture-treuil des parcs étrangers ressemble beaucoup à celle que je viens de décrire rapidement. Il n'en est pas de même pour la voiture chargée de l'appareil producteur de l'hydrogène : le dernier modèle français est trop récent pour avoir pu être imité déjà.

Les générateurs mobiles construits par MM. Yon et Lachambre sont des réductions de l'appareil fixe français à circulation, imaginé en 1875 par le capitaine Renard, et dont Giffard fit ensuite une retentissante application à sa grande entreprise de 1878.

La réaction chimique employée à la production est celle qui servit au physicien Charles pour le gonflement du premier aérostat.

On se rappelle les laborieux préparatifs auxquels donnait lieu cette opération ; ces batteries de tonneaux, où l'acide sulfurique, largement étendu d'eau, était mis dès l'abord en présence de la quantité de tournure de fer qu'il était capable d'attaquer. Le début de l'opération était tumultueux, tandis qu'elle allait se ralentissant à mesure que le liquide s'appau-

vrissait, abandonnant son acide et se chargeant de sulfate de fer.

Les appareils à circulation inventés par le commandant Renard ne présentent pas le même inconvénient.

L'acide, mélangé d'eau en proportions convenables, pénètre par la partie inférieure dans le *générateur* doublé de plomb. Au contact de la tournure de fer qui remplit ce récipient, le liquide acide s'appauvrit en montant jusqu'au niveau du trop-plein, par lequel il ne doit sortir que de l'eau chargée de sulfate de fer, si l'opération est bien conduite.

Le liquide étant, du reste, incessamment renouvelé, tout se passe avec une régularité parfaite.

L'hydrogène formé est puisé à la partie supérieure du générateur; il traverse un *laveur* et un *sécheur* à base de chaux vive ou de chlorure de calcium et soude caustique (1). On vérifie que, dans le trajet, le gaz s'est suffisamment débarrassé de toute trace d'acide et d'humidité, avant de l'envoyer dans le ballon, dont la manche coiffe l'extrémité de la conduite (2).

Cet appareil fixe est combiné pour produire 300 mètres cubes d'hydrogène à l'heure. Les appareils de campagne, groupés sur un seul chariot ne pesant pas plus de 2,800 kilogrammes (parc italien),

---

(1) Ce dernier dessiccateur est préconisé par M. Tissandier.

(2) On trouvera des renseignements très complets sur la fabrication de l'hydrogène pour les usages aéronautiques dans une brochure de l'auteur, intitulée : *L'Hydrogène*, bibliothèque aéronautique (Masson).

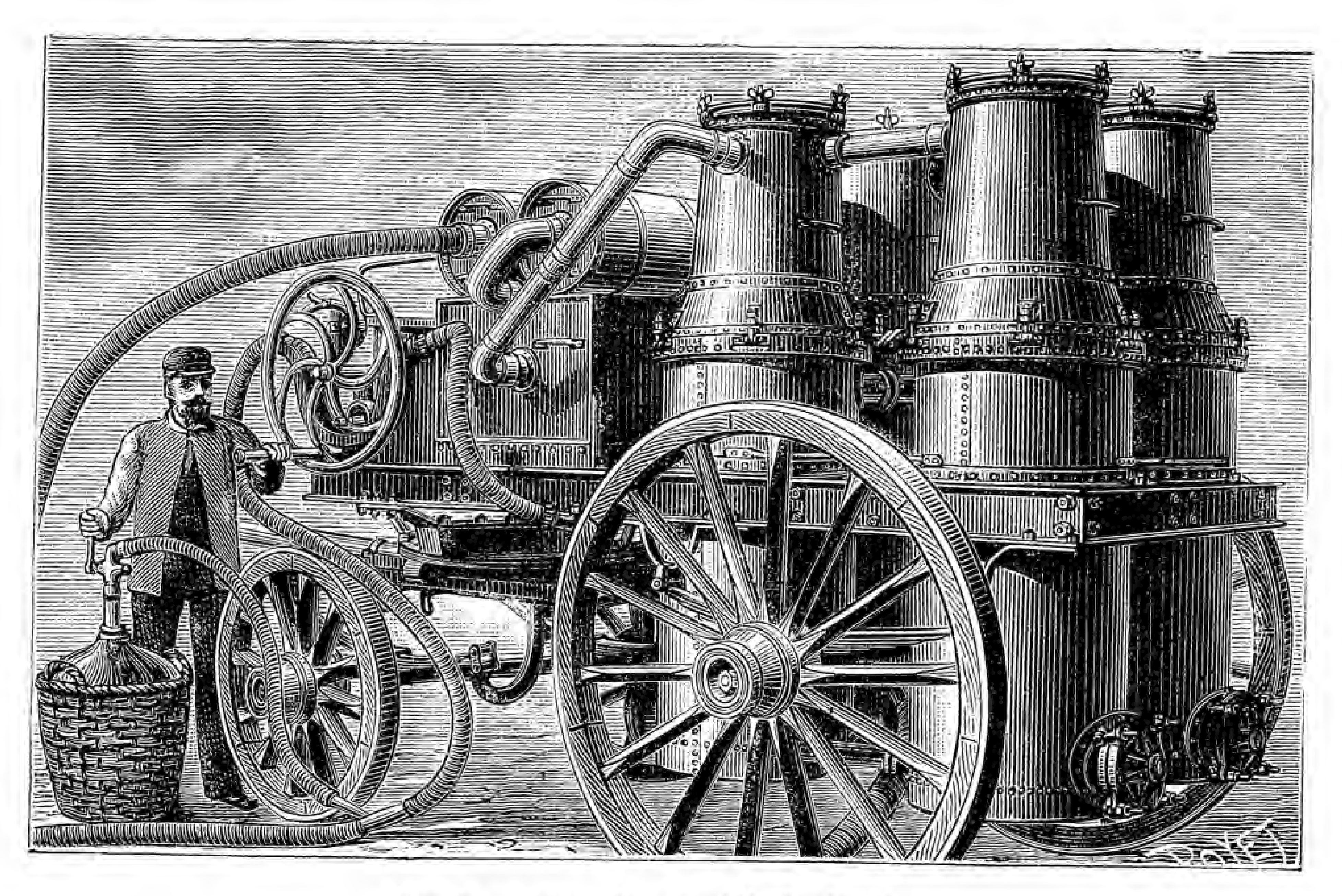


Fig. 8. — Générateur mobile Lachambre.

et qui sont une réduction de l'organisation précédente, ne peuvent évidemment avoir un débit aussi considérable; par exemple, l'appareil de M. Lachambre peut produire 120 mètres cubes à l'heure. Néanmoins le commandant Renard est parvenu à assurer à son générateur mobile un débit minimum de 300 mètres, par d'ingénieuses dispositions et des modifications qui font de cet appareil une création toute nouvelle. Les éléments de fabrication ne pèsent pas moins (fer et acide) de 8 à 9 kilogrammes par mètre cube de gaz fabriqué, ce qui constitue une charge de 5 000 kilogrammes environ à transporter pour chaque gonflement. Si l'on ajoute à cet *impedimentum* la nécessité de s'établir, pour l'opération, près d'un cours d'eau, à cause de la grande quantité d'eau qu'elle comporte, on voit combien il est important de ne la point renouveler trop souvent, et de conserver le ballon gonflé le plus longtemps possible.

Pour réparer ses pertes, qui tiennent, d'une part, à la diffusion à travers l'enveloppe, de l'autre et surtout à la sortie des excès de gaz, quand l'hydrogène se dilate pour des causes accidentelles ou quand un coup de vent comprime brusquement l'aérostat, on se ménage une provision d'hydrogène dans un petit *ballon-gazomètre* spécial, d'une capacité de 50 à 60 mètres cubes.

Le prix de revient de l'hydrogène fabriqué par les procédés communément employés est assez élevé : 1 franc environ par mètre cube.

On en a de plus économiques, notamment en

décomposant la vapeur d'eau surchauffée par du charbon porté au rouge. Malheureusement, on n'est pas parvenu à débarrasser complètement le gaz produit de la présence d'une certaine quantité d'oxyde de carbone, qui en augmente la densité et diminue ainsi la force ascensionnelle dans de notables proportions.

Pour éviter de s'encombrer d'un générateur et des éléments inévitables d'un gonflement, les Anglais se contentèrent, au Soudan, de fabriquer l'hydrogène dans une installation fixe, à Souakim; pour le transporter, ils imaginèrent de le comprimer à 150 atmosphères dans de petits tubes réservoirs ne pesant que 3 kilogrammes chacun, de manière à pouvoir être portés par les hommes eux-mêmes.

Les Italiens viennent de suivre cet exemple à Massaouah. Ce procédé semble appelé du reste à rendre de grands services, en réduisant notablement le poids à traîner et en permettant de préparer l'hydrogène en arrière par des procédés économiques et lents.

Signalons en passant l'emploi que l'on a fait de la lumière oxhydrique dans la même expédition anglaise du Soudan, tant pour échanger des signaux optiques que pour éclairer les chantiers du chemin de fer stratégique en construction de Souakim à Berber, auquel on ne travaillait que la nuit, pour éviter la trop grande chaleur du jour. L'oxygène nécessaire était transporté, comme nous venons de le voir pour l'hydrogène, dans des tubes de 38 centimètres de long.

VII. — **L'instabilité du ballon dans l'air.**

Nous voilà donc en possession de l'instrument.

Mais avant de nous confier à ce véhicule inusité, il sera nécessaire d'étudier la manière dont il se comporte dans ses déplacements à travers l'atmosphère.

Le mouvement horizontal du ballon est absolument celui de l'air qui le baigne et qui l'entraîne avec lui. L'aérostat est pour ainsi dire immobile au milieu du fluide qui l'entoure : c'est la terre qui se déplace et fuit sous sa nacelle, avec une vitesse parfois vertigineuse, tandis que l'aéronaute est dans le calme absolu, sans qu'un souffle soulève son pavillon ou ses cordages.

Suivant l'expression consacrée, il n'y a pas de vent pour l'aéronaute.

Mais tandis que les déplacements horizontaux sont absolument indépendants du ballon, il n'en est plus de même pour le mouvement suivant la verticale, la densité essentiellement variable des couches traversées influant évidemment sur la force ascensionnelle et sur l'équilibre.

Un ballon abandonné à lui-même et flottant au milieu de l'atmosphère peut bien être en équilibre à un moment donné et à une hauteur déterminée; mais cet équilibre ne saurait être que momentané; il est forcément instable, et cette *instabilité dans le sens vertical* dont nous allons chercher à nous rendre compte, est la véritable caractéristique du flotteur aérien.

Aussi a-t-on pu très justement comparer ce flotteur aérien au navire sous-marin dont l'équilibre est si facilement rompu.

Sous une influence quelconque, la densité du milieu fluide s'accroît-elle? le bateau sous-marin remonte jusqu'à la surface de l'eau sans trouver de nouvelle position d'équilibre intermédiaire; sous une cause qui l'alourdit au contraire, il descend jusqu'au fond de l'eau.

Cette instabilité a été la pierre d'achoppement de la navigation sous-marine; c'est elle aussi qui s'est opposée si longtemps à la réalisation de la navigation aérienne. L'une fait prévoir l'autre : il n'y a de différence que celle qui tient à la différence même des milieux, à la compressibilité de l'air opposée à l'incompressibilité de l'eau.

*
* *

Pour bien montrer en quoi consiste l'instabilité du ballon, supposons-le pour un moment en équilibre, à une certaine hauteur dans l'espace, et complètement *plein de gaz*.

Les causes sont multiples qui menacent cet équilibre; ce sont toutes les influences accidentelles qui peuvent modifier le poids du ballon ou la poussée de l'air, la densité de l'air ou celle du gaz :

Alternatives de soleil et d'ombre;

Les nuages qu'on traverse;

Le rayonnement de la terre, qui varie avec les

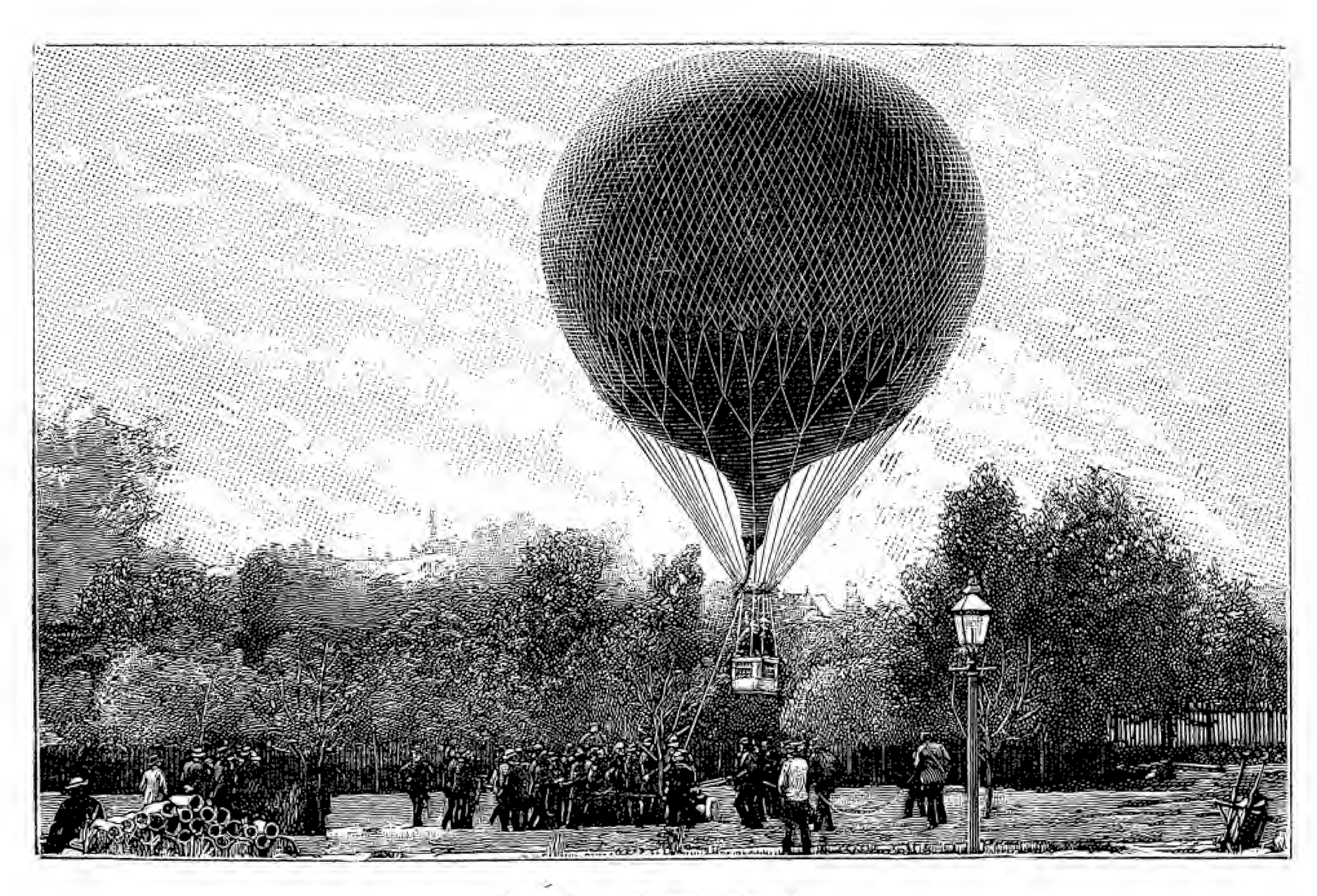


Fig. 9. — Ballon danois.

cultures, les forêts, les vallées, les centres habités, les cours d'eau,... etc.

Ces influences passagères allègent ou alourdissent l'aérostat. Dans le premier cas, il monte; dans le second, il descend.

Supposons, par exemple, qu'un coup de soleil dilatant l'hydrogène, en fasse sortir une certaine quantité par la manche d'appendice : le poids de ce gaz perdu, si faible qu'il soit, suffit à rompre l'équilibre; la poussée l'emporte : le ballon monte.

Montera-t-il indéfiniment?

Non; car il se trouve sur son parcours des couches d'air de moins en moins denses; la poussée qu'elles exercent sur cet aérostat, *dont le volume ne varie pas*, va toujours diminuant, et il arrive forcément un moment où cette diminution équilibre exactement le faible allègement subi tout à l'heure par le ballon. Celui-ci s'arrête : il a trouvé sa *zone d'équilibre* actuelle.

Donc :

Tout ballon qui monte trouve toujours au-dessus de lui une zone d'équilibre où il s'arrête.

Et c'est fort heureux, car voyez-vous un aérostat s'envolant indéfiniment dans le ciel?

*
* *

Supposons maintenant une influence inverse, un alourdissement fortuit aussi faible que l'on voudra. Immédiatement l'aérostat tend à descendre.

Descendra-t-il jusqu'à une nouvelle zone d'équi-

libre située au-dessous de sa première position, où il pourra s'arrêter et flotter de nouveau?

Non.

Un ballon qui descend, descendra jusqu'à terre, sans trouver de zone d'équilibre intermédiaire.

Et cela, parce que la force qui le fait tomber, l'excès du poids de l'aérostat sur la poussée de l'air, reste constante.

On peut se l'expliquer facilement.

Aussitôt que commence la chute, le gaz qui remplit le ballon se contracte et prend un volume de plus en plus petit, tout en conservant un poids constant. Quant à la poussée de l'air, elle augmente, il est vrai, à mesure que les couches deviennent plus denses; mais elle s'exerce sur un volume qui va diminuant sans cesse. En définitive l'excès du poids de l'aérostat se conserve, et la chute ne saurait s'arrêter que lorsque le sol lui oppose un obstacle matériel invincible.

*
* *

Un troisième cas peut se présenter.

Qu'arrivera-t-il, en effet, si nous dotons d'une certaine force ascensionnelle, un ballon *flasque*, c'est-à-dire incomplètement rempli par le gaz?

Il montera évidemment; dans ce mouvement, son gaz se dilatera peu à peu, mais tant qu'il ne remplit pas la capacité totale de l'enveloppe, la dilatation n'en fait pas échapper une molécule. Le poids de l'aérostat reste donc parfaitement le même; on dit

que le ballon est à *poids constant* et à *volume variable.*

C'est ce volume sur lequel agit la poussée de l'air : il augmente à mesure qu'on monte; mais l'intensité de la poussée elle-même décroît en même temps que la densité de l'air; ces deux facteurs de l'effet final se contrebalancent, et l'on peut énoncer cet axiome :

Tant qu'un ballon est flasque, sa force ascensionnelle reste constante.

Qu'en résulte-t-il?

Que sous l'effort de cette force constante le mouvement ascensionnel doit continuer forcément tant que le gaz ne remplit pas complètement le ballon en se dilatant.

A ce moment-là même, il possède encore cette même force ascensionnelle ; il continue donc à monter ; mais nous avons vu que, son gaz sortant alors par la manche d'appendice, son mouvement s'enraye rapidement : il s'arrête presqu'aussitôt.

En définitive :

Un ballon flasque doué d'une force ascensionnelle aussi faible qu'elle soit, montera jusqu'à ce qu'il soit complètement gonflé par le gaz dilaté, et dépassera la position ainsi atteinte.

Il est clair du reste que plus un ballon sera flasque, plus il devra monter haut, pour que le gaz dilaté le remplisse.

*
* *

Contre la perpétuelle instabilité que nous venons

de constater, quelles sont les armes que possède l'aéronaute ?

Le *lest* et la *soupape*.

La soupape permet d'évacuer du gaz et, si la pression ne change pas, de réduire le volume du ballon, ce qui équivaut à une diminution de force ascensionnelle. La manœuvre de cet appareil peut donc servir, soit à enrayer un mouvement d'ascension, soit même à déterminer la descente.

En réalité les mouvements ascensionnels s'enrayent si rapidement d'eux-mêmes, comme nous venons de le voir, qu'on se garde bien d'y dépenser son gaz en ouvrant la soupape : le gaz perdu ne se retrouve plus. C'est un principe qu'observe avec soin tout bon aéronaute.

Le lest, constitué par des sacs remplis de sable que l'on peut jeter au vent, pour ainsi dire grain à grain, est l'auxiliaire constant et indispensable du voyageur aérien. C'est lui qui permet d'arrêter toute chute à son début et de se maintenir en l'air ; il faut donc le ménager précieusement.

Le lest est pour le ballon ce qu'est le charbon pour la locomotive : tant qu'il en reste, on est assuré de prolonger le voyage ; aussitôt qu'on a vidé son dernier sac, on est à la merci du premier alourdissement, qui conduira l'aérostat jusqu'à terre.

VIII. — **La conduite d'une ascension libre.**

Et maintenant, en ballon !

L'aérostat est équipé près du sol. Le gonflement

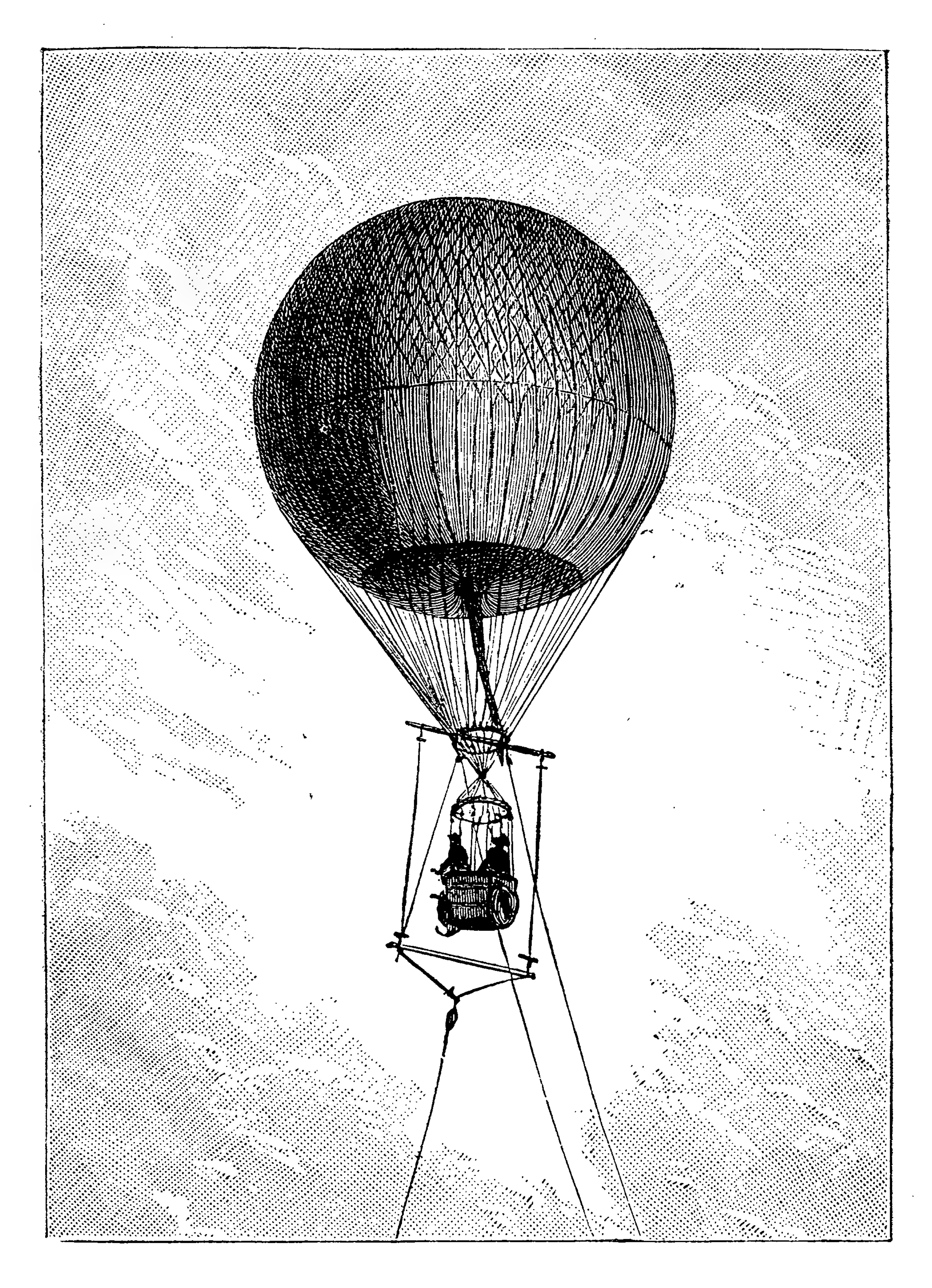


Fig. 10. — Ballon chinois.

fini, il se dresse fièrement, prêt à prendre son essor s'il n'était retenu par ses cordes équatoriales attachées à des piquets ou aux mains de solides gaillards.

On attache au cercle de suspension les cordes qui pendent des pattes d'oie du filet; puis on approche la nacelle pour la fixer à la suspension.

Les aéronautes passent par-dessus la mince paroi d'osier, et s'installent sur les deux petits sièges. Ils vérifient qu'ils ont tous leurs instruments et équilibrent le ballon, en mettant dans le fond de la nacelle autant de sacs de lest qu'il en faut pour enrayer toute tendance à l'ascension.

Le poids total du lest embarqué représente évidemment toute la force ascensionnelle disponible.

Cette opération s'appelle *peser le ballon*.

Tout est prêt : voilà le moment du départ.

Dans les ascensions de fêtes publiques, c'est le moment important : il s'agit d'effectuer un beau départ, impressionnant la foule.

Le ballon, très délesté, est maintenu à grand'peine par de nombreux auxiliaires.

L'aéronaute fait de pompeux préparatifs. Il prononce, en saluant la foule, le *lâchez tout!* traditionnel.

L'aérostat part comme une flèche et se perd dans l'espace. Son conducteur quitte alors son rôle officiel : il ne lui reste plus qu'à opérer sa descente le plus promptement possible... pour réduire les frais de retour en chemin de fer.

Ce n'est pas ce genre d'ascension que nous prendrons pour modèle. Notre but est tout autre, dans les applications militaires. Nos ascensions sont des voyages de *longue durée*, puisque *aller longtemps*, c'est *aller loin*. N'était-ce pas là, en effet, le constant désir des aéronautes intrépides qui, forçant le blocus de Paris, en 1870-71, devaient franchir tout le pays occupé par les troupes ennemies avant de prendre terre?

Or c'est le lest, nous l'avons vu, qui assure la durée de l'ascension : tout ce qui augmentera ou ménagera notre provision de lest, prolongera donc le voyage.

D'où l'on peut déduire deux principes :

1° *Partir avec une force ascensionnelle, ou rupture d'équilibre, aussi faible que possible*, puisque toute la force ascensionnelle disponible est représentée par les sacs de lest qui chargent la nacelle.

Rompre l'équilibre en jetant tout d'abord très peu de lest, c'est en conserver beaucoup pour manœuvrer.

Mais la conséquence de ce fait, c'est que le ballon, sous cette faible rupture d'équilibre, ne montera pas très haut : 400 à 500 mètres constituent une altitude suffisante pour cette première zone de navigation.

2° *Le ballon sera complètement plein au départ.*

Voilà qui se trouve en contradiction avec une pratique souvent admise et qui consiste à partir avec un ballon flasque. On veut économiser ainsi du gaz qui se perdrait sans profit, semble-t-il, pendant l'as-

cension, puisque la dilatation le chasserait hors de l'enveloppe.

L'objection n'est que spécieuse.

Que l'on suppose, en effet, deux ballons partant en même temps : l'un est complètement gonflé ; l'autre, incomplètement rempli, est *flasque*.

Lorsqu'ils s'élèvent dans l'atmosphère, le gaz se dilate dans l'un comme dans l'autre : il s'échappe par l'appendice du pléthorique ; il gonfle l'autre de plus en plus ; de telle sorte qu'arrivés à une certaine hauteur *commune*, ils se trouvent complètement pleins tous les deux et dans des conditions qui semblent identiques.

Mais, en réalité, leurs routes ont été toutes différentes.

Le ballon flasque a, du premier bond, dû franchir comme nous l'avons expliqué, toute l'altitude qui le séparait de la zone où il s'est trouvé complètement gonflé. Plus il était flasque au départ, plus il est monté haut d'un seul coup. Là, et dès le début de son voyage, il possède une faible quantité de lest dont l'épuisement marquera la fin rapide de l'ascension.

L'autre aérostat, celui qu'on a eu la précaution de remplir exactement, emporte plus de lest que son voisin, car cette quantité est proportionnelle au volume du ballon. Il ne monte pas comme une flèche à 1 000 ou 1 500 mètres, mais se maintient dans les basses régions tant qu'une influence accidentelle ne vient pas rompre son équilibre. Le supplément de lest qu'il emporte lui servira précisément à se main-

tenir ; il atteindra l'altitude où le premier s'est trouvé plein, beaucoup plus tard, et après avoir parcouru une plus longue route.

Ce n'est donc pas en pure perte qu'on gonfle l'aérostat à refus, dût-il *cracher*, pendant l'ascension, une partie du gaz qu'il contient.

*
* *

Nous voilà donc partis, montant presque sans vitesse. Aucune secousse ne trahit du reste notre déplacement : seul, le changement de grandeur relative des objets et l'élargissement subit de notre horizon en donnent la sensation. Les accidents du sol, les reliefs s'effacent ; et nous n'avons bientôt plus sous les yeux qu'une excellente carte planimétrique, où nous pouvons reconnaître la justesse de la plupart des teintes conventionnelles adoptées dans notre pratique topographique.

Nous nous partageons les rôles : l'un de nous prend le carnet aux observations — le journal de route — ; il range les cartes du voyage probable devant lui (1), il attache aux cordes de la suspension sa montre et son baromètre, et se prépare à inscrire, toutes les cinq minutes, l'altitude atteinte, afin de pouvoir retracer plus tard la courbe horaire du voyage.

Il n'a point de temps à perdre, car il faut pointer

---

(1) On doit autant que possible, avant l'ascension, lancer quelques petits ballons-poste en papier, qui permettent de déterminer la direction générale des courants aux diverses altitudes.

successivement sur la carte la route suivie par l'aérostat, marquer au journal de bord l'heure du passage aux points remarquables, et, s'il se peut, relever encore les indications du thermomètre.

Le second aéronaute sert de pilote. Son rôle semble plus simple au premier abord : il n'a qu'à ob-

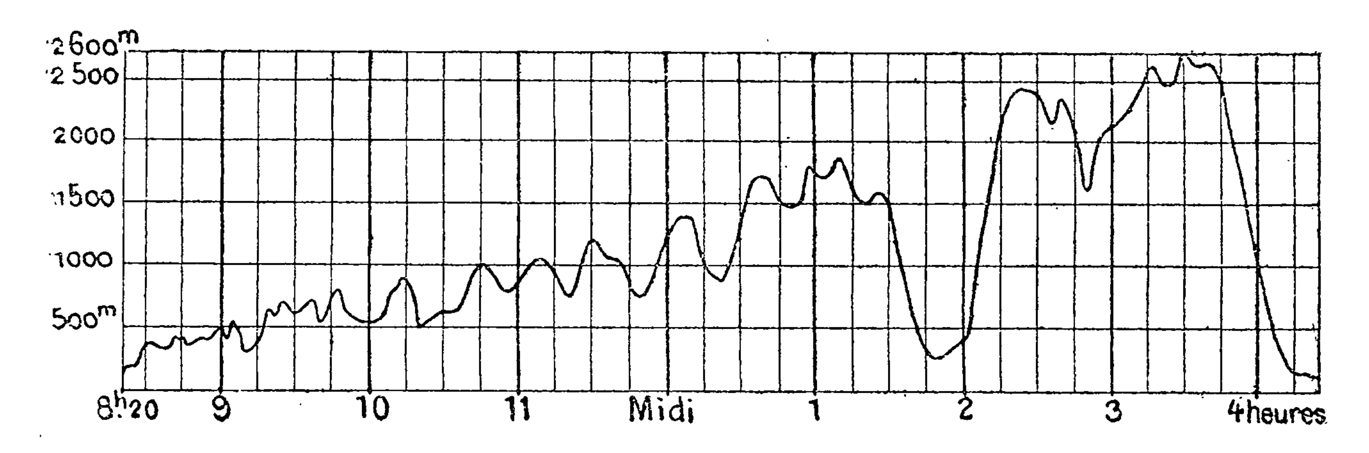


Fig. 11.— DIAGRAMME HORAIRE DE L'ASCENSION DU BALLON LE *Hong-hoa* (540 m. cubes; 29 juin 1886).

Aéronautes : MM. Espitallier, capitaine.
A. Duté-Poitevin, aéronaute civil.

oids du lest	emporté	135 kil.	Durée de l'ascension 8 heures.
	dépensé	120 —	Chemin parcouru 170 kilom.
	à l'atterrissage	10 —	Vitesse moyen. 21 k. à l'heure.
			Hauteur maximum 2 670 m.

Point de départ : Chalais-Meudon.
Atterrissage : Grand-Lucé (Sarthe).

server les mouvements de l'aérostat, et à jeter du lest en temps opportun ; mais cela seul suffit et nécessite une attention de tous les instants ; le pilote doit prévenir la moindre tendance de chute, et y déployer du flair et de la dextérité. Les qualités d'un bon pilote sont celles d'un bon marin.

*
* *

Voilà donc le ballon parvenu sur sa première zone d'équilibre, à 400 ou 500 mètres au-dessus du sol. Il file dans cette région, emporté par le vent, jusqu'à ce qu'un alourdissement passager le force à descendre.

Le pilote jette du lest et enraye le plus vite possible, avant que la vitesse n'ait eu le temps de s'accélérer.

Le ballon ralentit son allure, et s'arrête, flasque ; dans cet état il est encore plus instable et le moindre grain de lest jeté en trop, la moindre couche d'air un peu plus chaude, détermine une ascension nouvelle ; et comme, tant qu'il est flasque, sa force ascensionnelle reste constante, il monte tout d'un trait jusqu'au point où le gaz le remplit en se dilatant : ce point est évidemment sa première zone de navigation.

Va-t-il s'y arrêter?

Non ; car tout le lest jeté lui constitue un surcroît de force ascensionnelle qui doit lui faire dépasser cette ancienne zone, pour en atteindre une nouvelle, plus élevée, correspondant à son nouvel état.

En résumé :

Après chaque descente ayant occasionné une perte de lest, tout mouvement ascensionnel devra porter l'aérostat plus haut que précédemment.

*
* *

Un voyage aérien est donc composé d'une série

de bonds de plus en plus élevés, et la moyenne du mouvement figure un plan incliné, en tenant compte de l'entraînement horizontal dû à l'effort du vent. La vitesse de cet entraînement varie, du reste, suivant les couches que l'on traverse et qui sont animées de courants différents.

L'aréonaute est insensible à ces changements de régime : il est dans le calme relatif le plus complet ; rien ne flotte, rien ne bouge : ni les cordes équatoriales qui pendent tout autour de lui, ni le pavillon qui se soulève à peine lorsqu'un mouvement de descente s'accentue.

L'ascension peut être considérée comme terminée, lorsqu'il ne reste plus que la quantité de lest strictement nécessaire à amortir la descente définitive.

Nous venons de le voir, en effet, un aérostat qui descendrait de lui-même, irait en accélérant sa vitesse, en *s'emballant*, suivant un néologisme presque consacré.

Il y a une limite à cette accélération ; car la résistance de l'air s'accroît comme le carré de la vitesse, et il arrive par conséquent un moment où cette résistance équilibre la force de chute. La vitesse reste alors constante ; mais elle est bien suffisante encore pour que le choc à terre ne soit pas sans danger, et l'on s'efforce, par un judicieux emploi du lest, d'enrayer constamment l'accélération, de manière que la vitesse ne dépasse jamais 2 mètres par seconde. La quantité de lest qu'il convient de réserver ainsi pour la descente varie avec la grandeur du ballon et même avec les circonstances météorolo-

giques. Pour des ballons de 5 à 600 mètres cubes, elle est généralement de 20 kilogrammes. Le poids total du lest étant ordinairement de 120 à 130 kilogrammes; on voit donc qu'on peut disposer de 100 à 110 kilogrammes pour la route (1).

*
* *

L'aréonaute a pourtant à sa disposition un moyen de prolonger l'ascension.

Chaque ballon est pourvu d'une corde de 120 mètres de long environ, que l'on appelle le *guide-rope* (2).

On laisse cette corde se dérouler et pendre hors de la nacelle; elle se pose peu à peu à terre au moment de l'atterrissage, délestant ainsi le ballon du poids de toute la partie traînante; si nous combinons notre manœuvre de manière que ce délestage équivaille précisément à la force *descensionnelle*, lorsqu'on a posé une quarantaine de mètres de guide-rope, le ballon s'arrêtera dans sa chute et continuera sa route horizontale avec de très faibles

---

(1) Le commandant Renard est le premier qui ait établi une théorie rationnelle du mouvement vertical des ballons; les principes que nous venons de poser, et qu'il convient de substituer aux nombreux paradoxes qui avaient cours avant lui, ont été exposés en partie dans l'*Aéronaute* (1881).

(2) Le guide-rope a été inventé par l'aéronaute anglais Gryne. Il sert d'une manière générale à amortir l'atterrissage, et c'est par le guide-rope que les paysans accourus peuvent saisir et arrêter l'aérostat.



Fig. 12. — Un établissement d'aérostation militaire.

oscillations verticales, faisant varier d'une façon insensible le délestage dû au guide-rope.

On pourrait croire que, dans sa course, celui-ci doit s'accrocher aux moindres obstacles : il n'en est rien.

On le voit glisser à travers champs, franchissant sans dégât les récoltes, les haies, les arbres, les maisons elles-mêmes, jusqu'au moment où le ballon, perdant de plus en plus sa force ascensionnelle, se rapproche du sol davantage encore.

Il faut alors se résoudre à descendre définitivement ; l'opération ne laisse pas d'être délicate et de demander, de la part de l'aéronaute, de l'expérience et du sang-froid.

Sur le trajet suivi par l'aérostat, on choisit un emplacement convenable et découvert. Un léger coup de soupape détermine au besoin la descente, et, pour peu qu'on soit à grande hauteur et que le vent soit fort, il faut s'y prendre assez tôt pour ne pas dépasser l'endroit choisi.

Dans un de mes voyages aériens — qu'on me permette ici ce souvenir personnel, — au moment où notre lest épuisé ne nous permettait pas de continuer plus longtemps notre course, nous résolûmes de nous arrêter avant d'atteindre un taillis qui s'étendait à perte de vue. Nous étions encore à une centaine de mètres d'altitude, et le vent, très violent, menaçait de nous entraîner au-dessus de ce terrain peu propice.

Il fallait prendre une résolution rapide, sans balancer, sans hésiter.

Nous nous consultâmes d'un mot, et mon compagnon de route, saisissant la cordelette de soupape, la déclancha violemment en grand. Il me sembla que la nacelle se dérobait sous moi, et c'est certainement là une des sensations les plus désagréables que je connaisse.

Nous nous suspendîmes aux cordes d'agrès, pour amortir le choc, qui n'eut, en définitive, aucun effet trop rude.

L'ancre, qu'on avait laissé tomber au bout de son cordage de 40 mètres, avait mordu dans un pommier, qui fut à moitié arraché par la violence de la traction ; le ballon rebondit et se releva à une vingtaine de mètres au bout de la corde d'ancre ; puis il retomba avec violence, pour se relever encore trois ou quatre fois.

Mais par l'ouverture béante de la soupape, il perdait rapidement son gaz, et quelques paysans (il en accourt toujours de tous les points de l'horizon) suffirent à le maîtriser.

Le vent avait, ce jour-là, une vitesse de 10 mètres à la seconde. Cela peut être considéré comme un vent assez fort, quoique non dangereux ; et l'on voit que, même dans ces conditions relativement favorables, un atterrissage est toujours une opération pleine d'imprévu et non dépourvue d'émotions.

IX. — **Le tir contre les ballons.**

Tels sont les nouveaux auxiliaires de nos armées et les moyens d'action qu'ils mettent entre nos mains.

Mais il est facile de prévoir qu'un ennemi industrieux s'opposera de toutes ses forces à leur emploi, et il est intéressant, à ce propos, de relater les quelques expériences de tir qui ont été faites contre des aérostats.

Déjà, pendant la guerre de 1870-71, les ballons libres qui franchissaient les lignes d'investissement furent l'objectif du tir ennemi, et ceux qui les montaient entendirent bien souvent siffler les balles au-dessous de leur nacelle.

Krupp construisit même contre eux un mousquet, dont l'affût était fixé à un petit chariot susceptible de se porter rapidement sur le passage des ballons signalés.

Mais en général, les ballons libres pourront, en partant à une heure convenable — très peu avant le lever du jour — et en voyageant à une altitude suffisante, échapper à toute atteinte. Il n'en est pas de même des aérostats captifs, dont l'élévation est forcément limitée.

En 1871, on fit à Tours des expériences pour déterminer la hauteur où ils échappaient au tir du chassepot.

Mais le réel ennemi du ballon n'est point le fusil ; il doit bien plutôt redouter le tir du canon tirant des obus à balles ou shrapnels.

Dès 1880, les Anglais atteignirent un ballon situé à 260 mètres d'altitude et à 1 780 mètres de la pièce, qui tirait des shrapnels de 13 livres : le ballon tomba lentement.

Beaucoup plus décisifs sont les derniers tirs allemands effectués au polygone de Cummersdorf : des

shrapnels ont été tirés sur des ballons situés à 5000 mètres, et élevés de 100 à 250 mètres. Le premier est tombé à la dixième décharge ; le second a été atteint à la vingtième : l'un et l'autre avaient de vingt à trente trous, qui s'élargissaient par la fuite du gaz. Il est donc probable qu'on ne pourra guère observer en ballon captif qu'en se tenant à une distance supérieure à 5000 mètres des batteries ennemies.

X. — **La direction des ballons.**

Ces notes rapides ne seraient pas complètes si nous ne jetions un coup d'œil sur les essais tentés pour la direction des ballons.

L'emploi de ballons captifs à la guerre n'est évidemment qu'un pis-aller : on tirerait un parti autrement avantageux d'une flottille de dirigeables. Nous n'avons pas besoin d'insister sur les applications qu'on en pourrait faire.

Le premier inventeur auquel on doit faire remonter la plupart des idées pratiques qui ont cours aujourd'hui sur les ballons dirigeables, est le général Meusnier (1), ce soldat doublé d'un savant de la plus

---

(1) Meusnier de la Place, né en 1754, entra à 21 ans à l'École du génie de Mézières ; il ne tarda pas à se faire remarquer par ses travaux scientifiques; ils lui valurent le titre de *correspondant* de l'Académie des sciences, qui lui ouvrit enfin ses portes en 1784; il avait juste trente ans alors. Il mourut le 13 juin 1793, à la suite d'une blessure reçue dans une sortie, au siège de Cassel

haute valeur, auquel la ville de Tours vient si justement de rendre un hommage récent, en lui élevant un tardif monument.

C'est dans un mémoire trop longtemps oublié sous la poussière d'une bibliothèque que le défenseur de

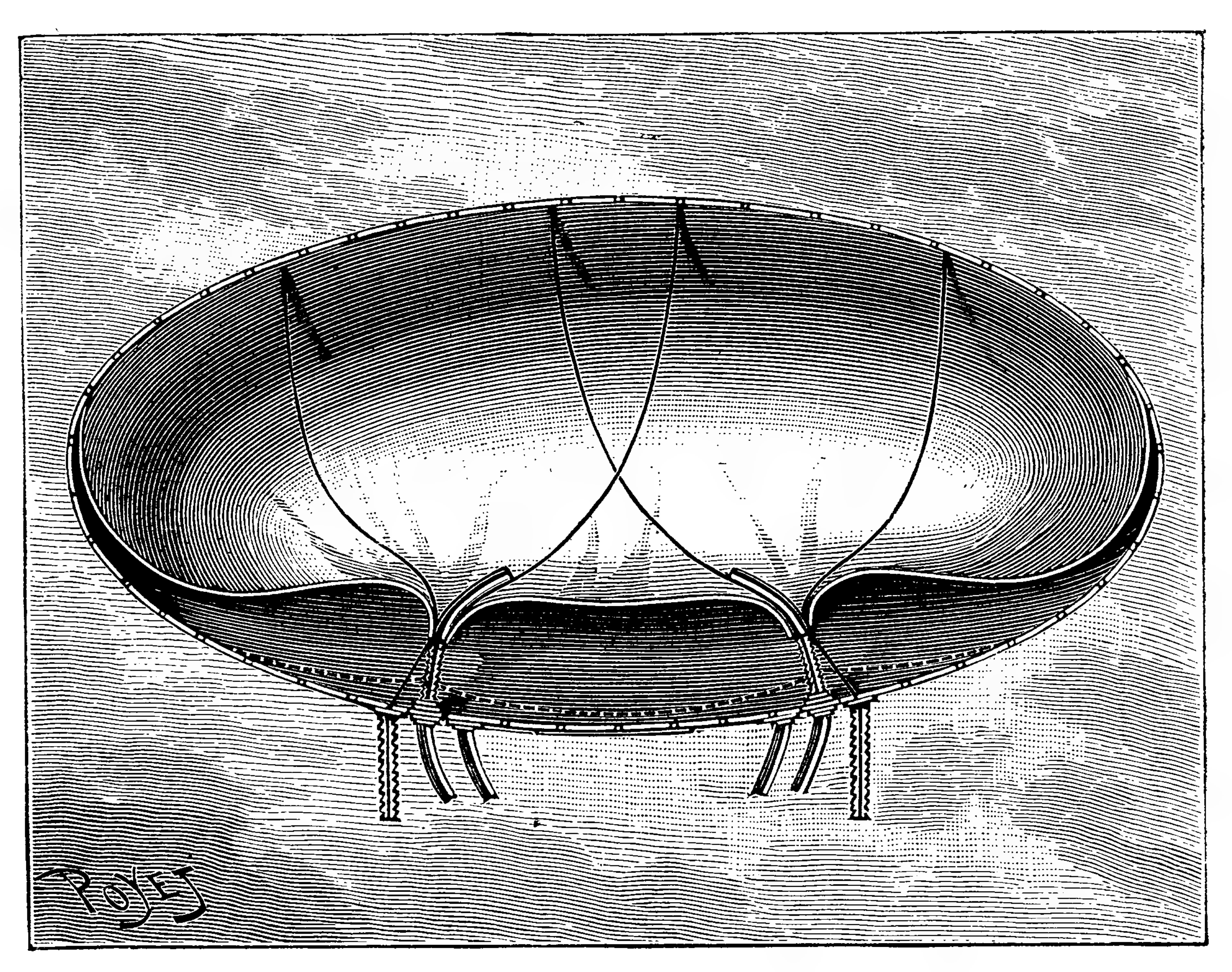


Fig. 13. — Coupe du ballon de Meusnier.

Mayence a déposé les germes de plusieurs des perfectionnements appliqués depuis.

Démontrant, tout d'abord, l'avantage de l'allongement, qui offre moins de résistance à l'air, il proposait de donner au ballon la forme d'un ellipsoïde de révolution.

C'est à lui qu'on doit l'invention capitale du *ballonnet* intérieur à air, que l'on a comparé souvent à la vessie natatoire des poissons, et dont nous parlerons à propos de Dupuy de Lôme, qui l'a retrouvé et perfectionné.

*
* *

Après Meusnier, il faut sauter jusqu'à la date de 1852, pour voir l'aéronautique faire un pas de plus, grâce à l'ingénieux inventeur de l'*injecteur* servant à l'alimentation des chaudières à vapeur, Henri Giffard, le chercheur plein d'audace qui, toute sa vie, fut tourmenté du démon de la conquête de l'air.

Le premier, il ne craignit pas d'installer une machine à vapeur dans la nacelle d'un ballon, à quelques mètres au-dessous d'une mince enveloppe remplie d'un gaz inflammable, — que dis-je ! — d'un mélange détonant, car l'air y pénètre toujours en quantités notables : la moindre étincelle, et l'aérostat sombrait misérablement.

Dans la tentative du 24 septembre 1852, aussi bien que dans celle de 1855, Giffard se heurta à un vent beaucoup trop fort pour que son hélice de propulsion lui permît de le remonter.

Le dernier ballon de cet ingénieur présentait, du reste, un grave défaut : son allongement excessif lui enlevait toute stabilité dans le sens longitudinal. On comprend, en effet, qu'il se doive produire des mouvements de flux et de reflux dans cette énorme masse de gaz, déplaçant son centre de gravité et

soulevant ainsi alternativement une pointe ou l'autre.

Quand le ballon est modérément allongé, ces déplacements n'ont d'autre résultat qu'un mouvement de *tangage* plus ou moins accentué. Dans les aréostats très allongés, au contraire, l'instabilité est telle qu'au moment où la nacelle de Giffard toucha terre, le ballon se redressa tout à coup complètement et sortit de son filet.

Qu'on imagine le résultat d'un tel accident, s'il se fût produit au cours de l'ascension !

*
* *

La question resta encore en suspens jusqu'au jour où, poussé par une ardente nécessité, le gouvernement, enfermé dans Paris en 1870, résolut d'établir, par tous les moyens en son pouvoir, des communications sûres et régulières avec le dehors. On devait naturellement songer aux ballons dirigeables, qui semblent créés tout exprès pour cet office, et Dupuy de Lôme, l'éminent ingénieur des constructions navales auquel nous devons notre première flotte cuirassée, fut chargé d'étudier le problème, — et de le résoudre, s'il était possible.

Ce n'est qu'en 1872, longtemps après la rupture du cercle de fer qui avait fait naître l'idée, que l'aérostat de Dupuy de Lôme fut prêt à affronter l'épreuve.

Il avait 36 mètres de long et 15 mètres de plus grand diamètre ; son constructeur avait donc prudemment reculé devant la forme trop allongée de son devancier.

La capacité était néanmoins de 3 600 mètres cubes. En le gonflant à l'hydrogène, on obtenait une énorme force ascensionnelle qui permit d'enlever un équipage de quatorze hommes.

Dupuy de Lôme renonçait, en effet, à se servir d'une machine à feu, et se contentait de la force humaine pour faire mouvoir son hélice de 6 mètres de diamètre : les hommes d'équipage agissaient par brigade de 8 sur un treuil moteur. Ce mode de propulsion imprimait à l'aérostat une vitesse propre de $2^m,82$ à la seconde, soit 10 kilomètres 1/4 à l'heure ; le vent avait lui-même une vitesse beaucoup trop grande, de 40 kilomètres, le jour de l'expérience.

Dans ces conditions, elle permit simplement de constater les réels progrès réalisés pour les détails de construction, ceux surtout qui concouraient à combattre l'instabilité longitudinale que nous avons signalée.

La nacelle de Dupuy de Lôme, que l'on conserve précieusement à l'établissement de Meudon, était de forme allongée, assez semblable à un bateau.

Le système de suspension était surtout remarquable et assurait la stabilité de l'ensemble, en établissant la parfaite dépendance de la nacelle et du ballon, au moyen de *balancines* tendues obliquement entre eux. Grâce à cette solidarité, le poids même de la nacelle contribuait à ramener le ballon à l'horizontalité lorsqu'il tendait à s'en écarter.

Mais le plus incontestable progrès réalisé par le savant ingénieur, consiste sans contredit dans l'installation pratique et rationnelle du ballonnet inté-

rieur à air. Voici en quoi consiste cet appareil.

Nous savons qu'un ballon ne saurait conserver indéfiniment le gaz qui le remplit, à cause de la diffusion à travers l'enveloppe et, surtout, des accroissements fortuits de volume sous diverses influences. Peu à peu le ballon devient donc flasque, se ride, et le vent s'engouffre dans les poches qui se forment alors : il en résulte des résistances aussi irrégulières que nuisibles à la marche.

On comprend, en outre, que les déplacements de la masse gazeuse sont alors beaucoup plus anormaux que dans un ballon plein : il faut donc à tout prix assurer l'*invariabilité de formes.*

Pour l'obtenir, on divise la capacité du ballon en deux parties par une cloison horizontale en même étoffe que l'enveloppe. Dans la capacité supérieure, on met le gaz qui peut remplir complètement le ballon, lorsqu'il se dilate, en collant la cloison sur la paroi inférieure.

Mais le gaz vient-il à se contracter? cesse-t-il de remplir la capacité totale qui lui est offerte ? il suffit d'insuffler de l'air, au moyen d'un ventilateur, en dessous de la cloison, pour tendre de nouveau l'enveloppe, et rétablir la forme primitive.

*
* *

Il fallut encore une période d'une dizaine d'années pour amener une nouvelle et sérieuse tentative : elle est due à M. G. Tissandier, qui construisit un aérostat allongé de 28 mètres de long et de $9^{m},20$

de plus grand diamètre, contenant 1 060 mètres cubes d'hydrogène.

La grande originalité du nouvel aérostat réside dans l'emploi, pour la première fois, d'un moteur électrique actionnant l'hélice de $2^{m},80$ de diamètre,

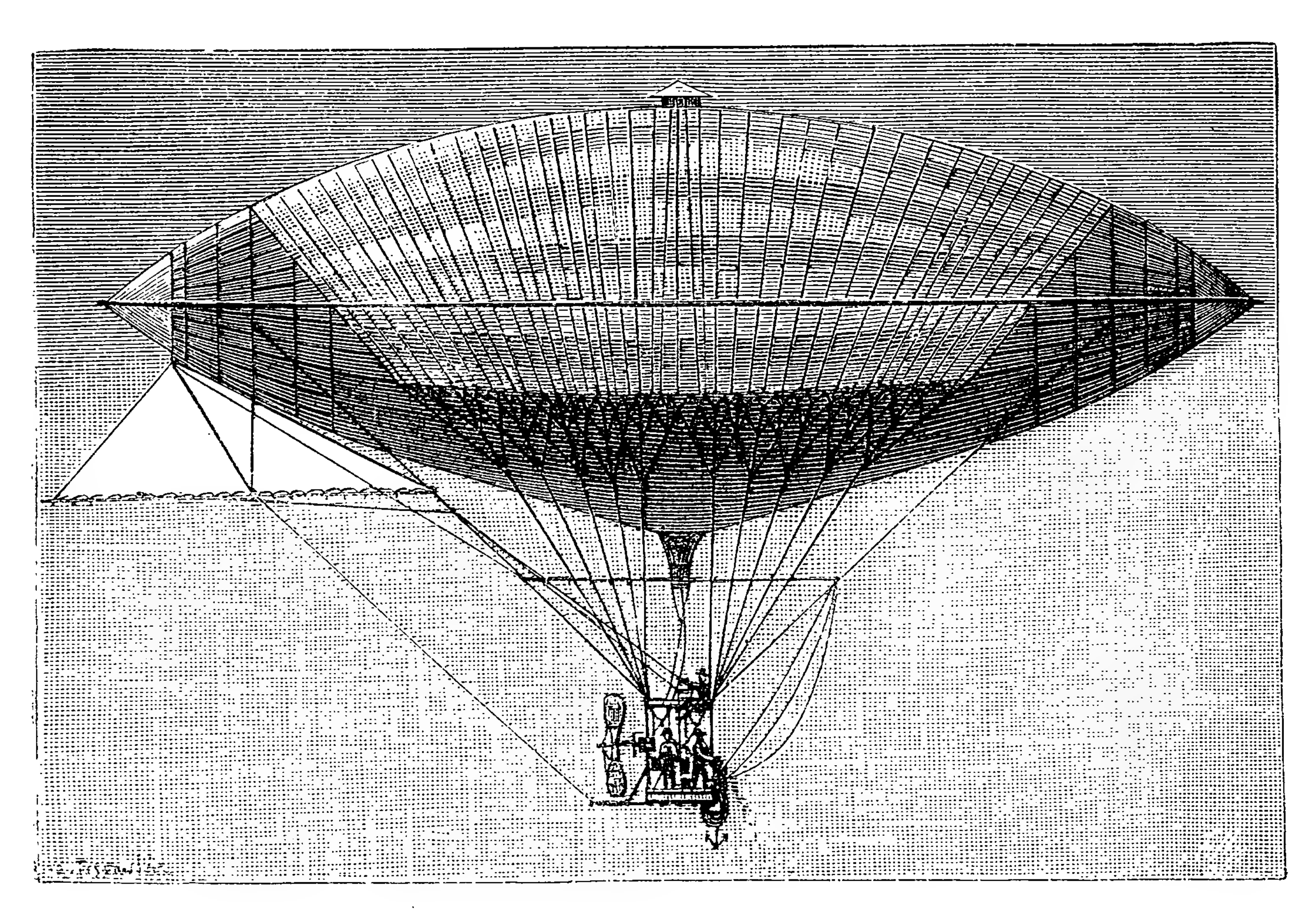


Fig. 14. — Ballon Tissandier.

et pouvant lui imprimer une vitesse de 180 tours à la minute.

La source d'électricité était une pile légère et de grand débit, au bichromate de potasse, imaginée pour cet usage spécial. Les piles de grand débit ont l'inconvénient de s'épuiser vite : celle de M. Tissandier ne peut guère fonctionner plus de deux heures et demie.

L'ensemble du moteur, de la pile et de l'hélice ne pesait pas plus de 280 kilogrammes.

L'ascension se fit le 8 octobre 1883; mais, malgré une vitesse propre de 3 mètres, le ballon ne put lutter contre le vent, qui lui imprimait des mouvement giratoires impossibles à maîtriser par la seule action du gouvernail (1).

XI. — **Le dirigeable de Meudon.**

Les choses en étaient là, lorsqu'enfin, le 9 août 1884, le capitaine Renard et son collaborateur, le capitaine Krebs, firent leur mémorable ascension.

Après avoir accompli un trajet absolument déterminé, ils revinrent jeter leur guide-rope dans le parc même d'où ils étaient partis.

Le problème était résolu, et M. Hervé-Mangon eut raison de le proclamer hautement à l'Institut; car, s'il faut laisser aux précurseurs le mérite d'avoir fixé les bases du problème, le véritable inventeur est celui qui sait coordonner tous les faits antérieurs et en faire jaillir la forme définitive, le succès complet et indiscutable. C'est à ce titre que les deux officiers de Meudon resteront les incontestables inventeurs de la direction des ballons.

Voici d'abord, réunis dans un tableau permettant leur comparaison facile, les éléments des principaux ballons dirigeables :

---

(1) Une modification au gouvernail permit pourtant plus tard de porter remède à cet inconvénient.

	DIAMÈTRE.	LONGUEUR.	ALLONGEMENT OU RAPPORT de la longueur au diamètre.	FORCE MOTRICE TOTALE en chevaux.	SECTION TRANSVERSALE en mètres carrés.	FORCE MOTRICE par 100^m de surface transversale		
						Absolue en chevaux.	rapportée au cas du ballon de	
							Dupuy de Lôme.	G. Tissandier.
Giffard (1855).........	10^m	70^m	7,00	3,00	78,5	3,82	10,0	1,9
Dupuy de Lôme (1872).	14,84	36,12	2,43	0,65	172,0	0,38	1,0	0,19
G. Tissandier (1883)..	9,20	28 »	3,04	1,33	66,5	2,00	5,3	1,0
Chalais (1884), ballon *la France*..........	8,40	50,40	6,00	9,00	55,4	16,25	42,7	8,1

Les progrès réalisés à Meudon, en dehors d'un grand nombre de perfectionnements de détail, sont de deux sortes.

Les premiers complètent les moyens de combattre l'instabilité longitudinale ; ceux qu'avait imaginés Dupuy de Lôme sont, en effet, insuffisants quand l'allongement dépasse trois diamètres.

Les seconds portent sur l'augmentation de vitesse du ballon, augmentation indispensable si l'on veut lutter contre le vent.

M. Tissandier avait obtenu 3 mètres de vitesse à la seconde : il fallait au moins doubler ce chiffre, et, pour y parvenir, alléger considérablement les mo-

teurs de manière à développer huit fois plus de force par unité de surface résistante. Cela conduisait, en outre, pour réduire cette surface le plus possible, à allonger jusqu'à la limite extrême.

Le ballon *la France* a $50^{m},40$ de long, pour $8^{m},40$ de diamètre; son allongement est donc de 6 diamètres, et sa capacité est de 1 861 mètres.

Cette aéronef (c'est le nom consacré) n'a pas ses deux pointes symétriques; on a reconnu, en effet, que, pour remédier à certaines irrégularités de marche, il vaut mieux donner à la proue une forme plus obtuse qu'à l'arrière, qui s'allonge en s'amincissant peu à peu, de manière à s'opposer plus efficacement aux embardées. C'est tout à fait la forme des poissons à grande vitesse.

Le ballon est recouvert d'une housse de soie reliée au filet.

La nacelle a 33 mètres de long; sa carcasse en bambous est recouverte d'une chemise de soie : l'air glisse sans résistance sur cette surface unie.

L'appareil de propulsion se compose d'une hélice à deux branches de 7 mètres de diamètre, placée à l'avant de la nacelle et tournant autour d'un arbre creux en tôle, qui se rattache à la transmission d'une machine motrice dynamo-électrique. Cet arbre n'est pas absolument rigide; il prend, dans le mouvement, des inflexions hélicoïdales, comme un serpent dont on fixerait la tête et la queue : il est impossible, dans ces conditions, de le faire tourner dans des paliers fixes; les paliers suspendus et oscillants de l'aéronef résolvent très ingénieusement la difficulté.

Le moteur électrique employé dans les premières expériences, et qui ne pesait que 100 kilogrammes, était dû au capitaine Krebs.

Le 12 septembre 1884, son anneau mobile fut mis hors de service ; le 8 novembre, la chute d'une partie des fils de balais occasionna un accident nouveau, en fermant le courant en court circuit : à la première de ces dates, les avaries de la machine furent cause de l'insuccès de l'expérience, insuccès qui amena un revirement aussi vif que peu raisonné de l'opinion publique.

Pour éviter de nouveaux mécomptes, les ascensions du 26 août et des 22 et 23 septembre 1885 furent exécutées avec une machine nouvelle de même poids, construite par M. Gramme. Pour arriver à lui faire développer 9 chevaux de force sans augmentation de poids, il fallut doubler la vitesse de l'anneau, qui peut tourner maintenant à 3 600 tours par minute. Cette énorme vitesse a nécessité des transformations importantes et des précautions multiples pour empêcher les axes de chauffer : des améliorations sensibles furent aussi apportées à la transmission et au mode de graissage.

*
* *

Comme source d'électricité, l'aéronef de Chalais enlève un certain nombre d'éléments d'une pile extrêmement énergique, inventée aussi par le commandant Renard (1).

(1) Voir la description de la pile Renard dans la *Revue de l'aéronautique*, livraison 1888.

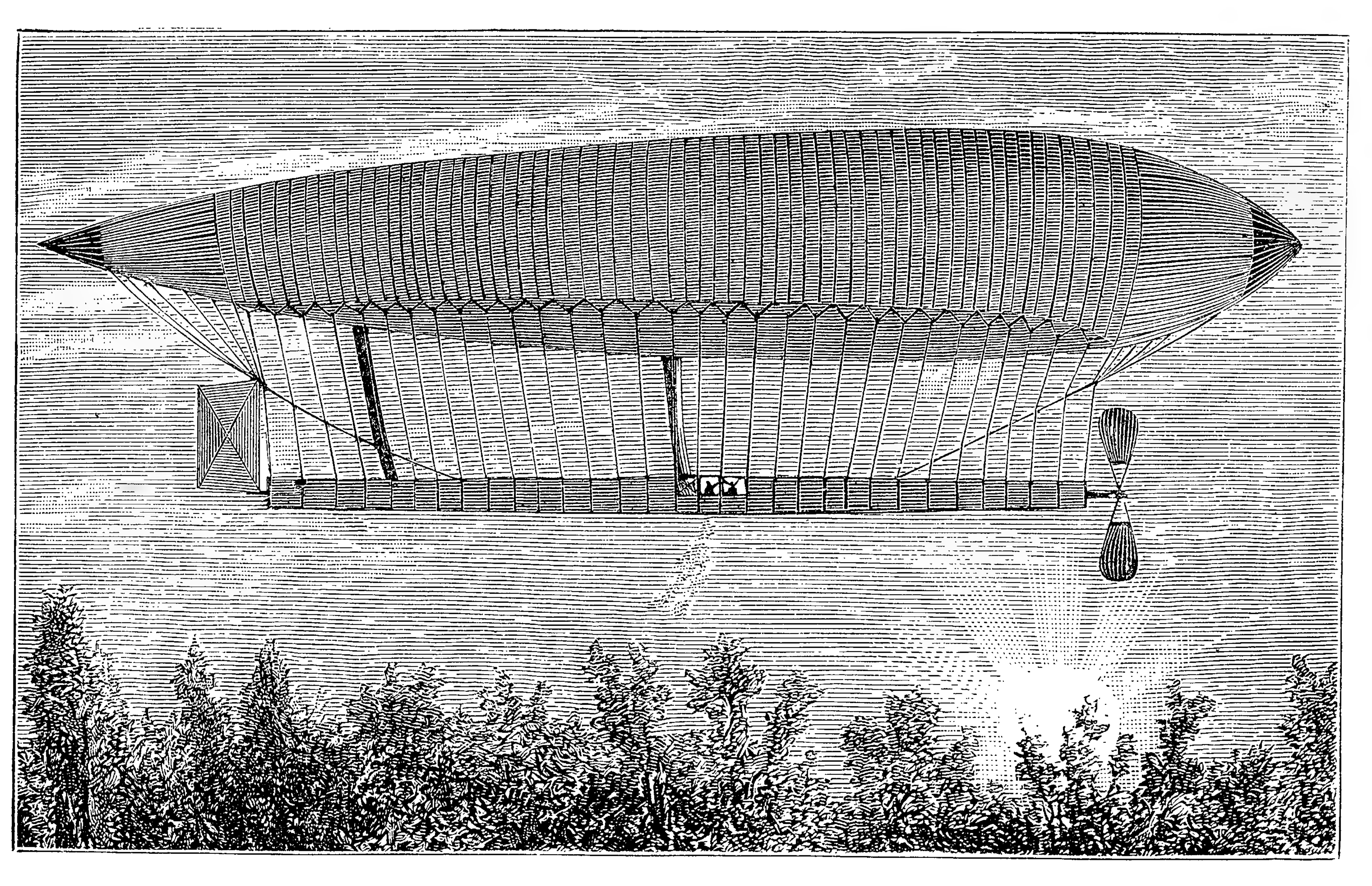


Fig. 15. — L'aérostat à hélice de MM. Ch. Renard et Krebs, au-dessus des bois de Meudon. Expérience du 12 septembre 1884.

Par cheval réellement disponible sur l'arbre de la machine, et par heure, cette pile ne pèse que 25 kilogrammes, tandis que celle de M. Tissandier pèse 68 kilogrammes dans les mêmes conditions; en revanche, elle s'épuise un peu plus vite que celle-ci et ne peut guère agir que pendant deux heures au maximum.

Le tableau suivant fait ressortir les avantages de la pile Renard sur les différentes sources d'énergie qui peuvent lui être comparées :

	POIDS TOTAL.	FORCE MAXIMA en chevaux de 75 kil. sur l'arbre.	DURÉE.	POIDS par cheval indépendamment de la durée (1)		POIDS par cheval et par heure (1)	
				réel.	en prenant le poids de la pile Renard pour unité.	réel.	en prenant le poids de la pile Renard pour unité.
	kil.		h. m.	kil.		kil.	
PILE RENARD.......	400	9,00	1.45	44	1,0	25	1,0
ACCUMULATEURS..... (Moyenne pratique des meilleurs appareils.)	»	»	4,00	300	6,7	75	3,0
PILE TISSANDIER....	225	1,33	2,30	170	3,8	68	2,7
FORCE HUMAINE..... (Les 8 hommes employés par Dupuy de Lôme.)	600	0,65	3.00	900	20,3	300	12,0

(1) Il s'agit du travail réellement disponible sur l'arbre de la machine.

Je n'ai point mentionné jusqu'à présent le gouvernail en soie, tendu à l'arrière et qui permet de changer et d'assurer la direction du ballon. Dans l'ascension du 9 août 1884, il a suffi de dévier le gouvernail d'un angle de 11° pour faire exécuter à l'aérostat un demi-tour de 150 mètres de rayon.

*
* *

Les expériences de l'année 1885 sont particulièrement remarquables, parce qu'après avoir allégé certaines parties de l'aéronef pour lui permettre d'enlever un troisième aéronaute, on put exécuter des mesures précises de vitesse.

Ces mesures sur l'aérostat en marche étaient indispensables, les inductions du calcul et les mesures au repos étant absolument insuffisantes. C'est ainsi qu'on a pu déterminer d'une façon précise la loi de résistance de l'air dans le cas des ballons allongés.

*
* *

Ce qui a fait l'insuccès complet des tentatives qui ont précédé celles de Chalais, c'est l'insuffisance de la vitesse propre dont étaient susceptibles les aérostats en expérience. Voyons, en effet, quelles sont les conditions de marche d'un véhicule aérien pour qu'il puisse se diriger dans l'espace et atteindre un point déterminé.

Si l'air était complètement calme, il est évident qu'un ballon marcherait nettement vers son but, si

petite que fût sa vitesse propre. L'ennemi qu'il doit vaincre dans la plupart des circonstances est donc le *vent*.

Le vent est la manifestation, pour un observateur

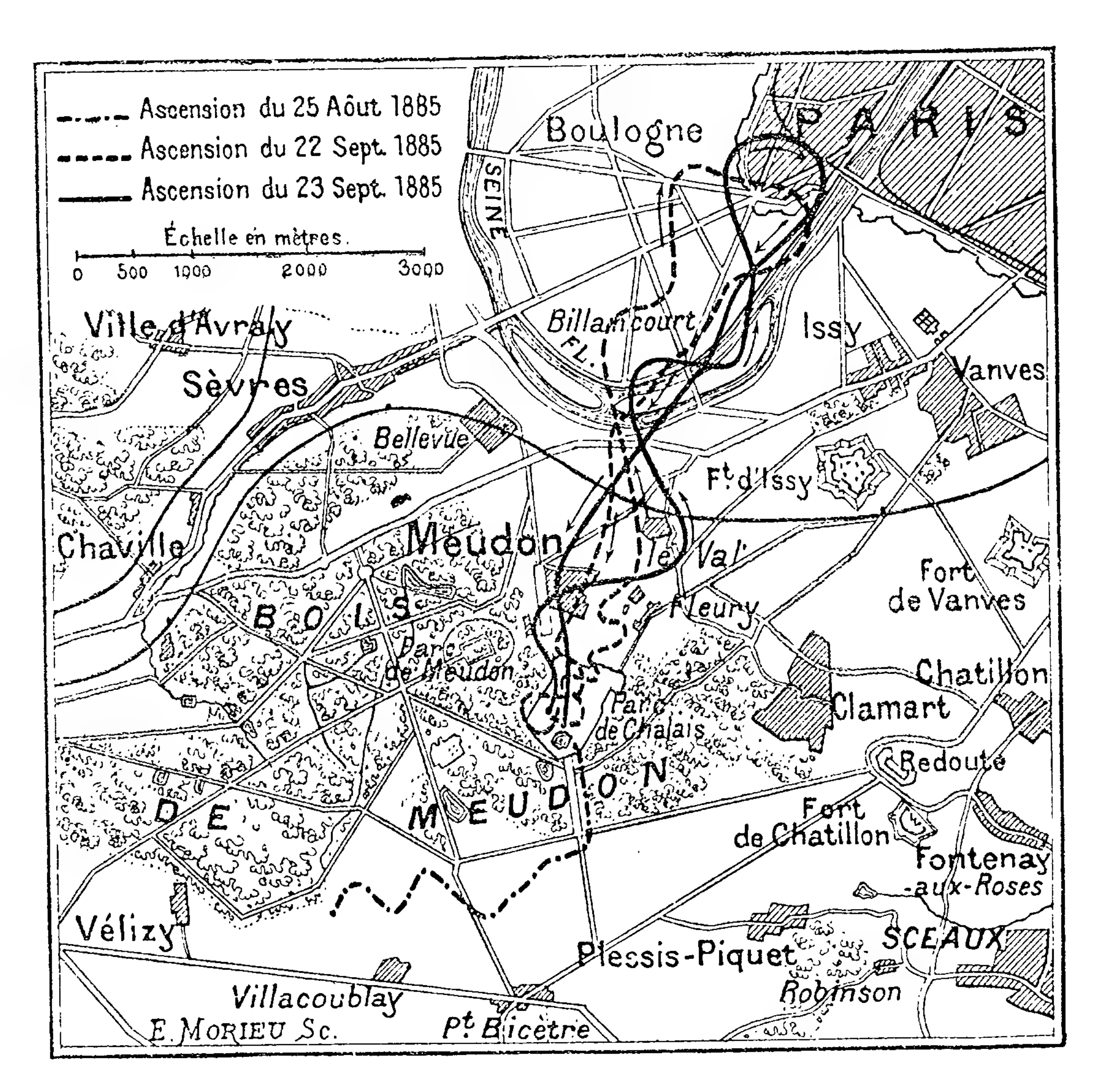


Fig. 16. — Carte des principaux voyages aériens du ballon *la France*.

rivé au sol, du mouvement relatif de l'atmosphère.

Pour un ballon plongé dans l'air et entraîné avec lui, cette manifestation se traduit par le mouvement relatif de la terre qui fuit sous lui, avec une vitesse rectiligne égale et de sens contraire à la vitesse du vent.

Soit donc P′ le point de départ d'un ballon dirigeable dans l'atmosphère supposée immobile; tous les points abordables au bout de l'unité de temps sont compris sur une circonférence dont P′ est le centre et dont le rayon est égal à la vitesse propre de l'aérostat.

Or ce point du sol au-dessus duquel se trouvait

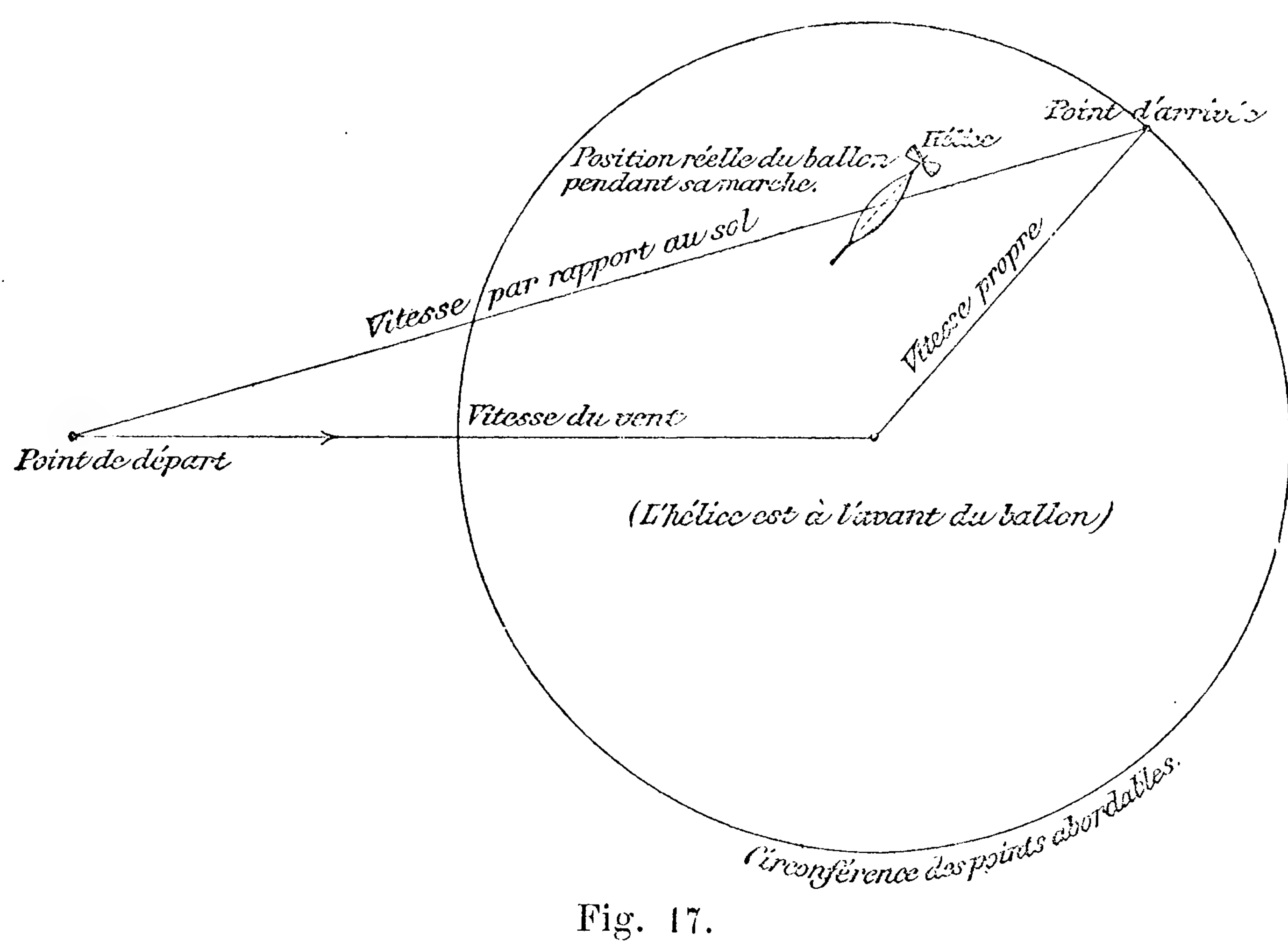


Fig. 17.

le ballon au départ se sera déplacé dans le même temps, dans le sens du mouvement relatif de la terre; il se trouvera en P, à une distance de P′ représentée par la vitesse de ce mouvement, qui est aussi celle du vent.

Si cette vitesse est supérieure à la vitesse propre du ballon, il y aura tout un *secteur abordable* pour

l'aérostat; ce sera l'espace limité par les deux tangentes menées du point P au cercle dont nous venons de parler, et le ballon ne pourra atteindre aucun point situé en dehors de ce secteur.

Il en résulte que si l'on veut, un jour donné, que l'aérostat puisse aller dans toutes les directions et

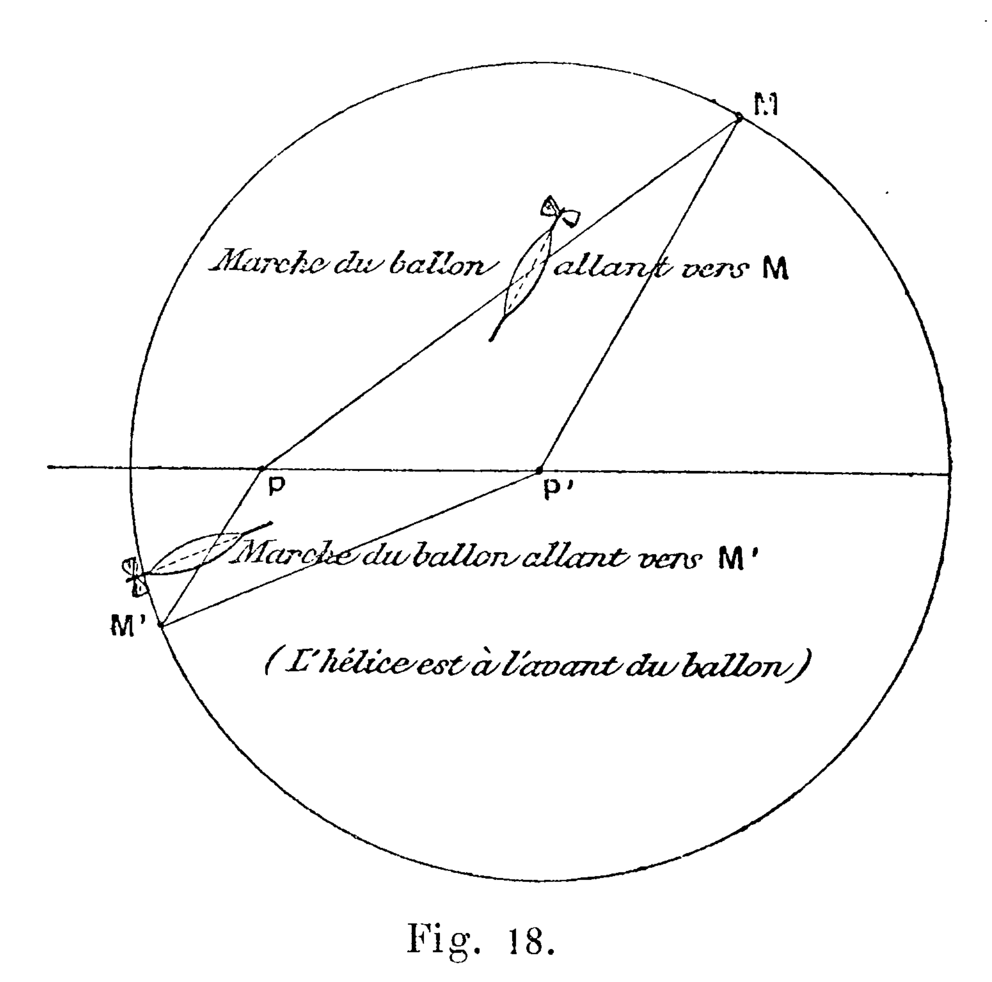


Fig. 18.

atterrir en un point quelconque du sol — et non plus seulement dans un secteur déterminé — *il faut et il suffit que sa vitesse soit plus grande que celle du vent ce jour-là.*

La figure ci-dessus indique comment, dans ce cas, le navire aérien devra s'orienter pour atteindre un point quelconque M (1).

(1) Les figures et les tableaux que nous donnons ici sont

Pour savoir si l'aérostat peut aller ainsi dans toutes les directions à un moment donné, il faut savoir si sa vitesse est supérieure à celle du vent.

Le tableau suivant indique la probabilité pour que cette condition soit remplie.

VITESSE DU VENT		PROBABILITÉ EN MILLIÈMES d'avoir un vent d'une vitesse plus faible que les nombres inscrits dans les colonnes précédentes.	OBSERVATIONS.
EN MÈTRES par seconde.	en KILOMÈTRES à l'heure.		
mètres.	kilomètres.		
2,50	9	109	D'après la 3e colonne, la probabilité d'avoir un vent inférieur à 40^{m} par seconde ou 144 kilomètres à l'heure est égale à 1000 millièmes. Cependant, exceptionnellement, on a observé des vents plus rapides. Sur 11,049 heures d'observations, on a constaté une fois un vent de 162 kilom. à l'heure, deux fois un vent de 153 kilom., et neuf fois un vent de 144 kilom. Ce sont des ouragans du sud-ouest qui déracinent les arbres et endommagent les toitures.
5,00	18	323	
7,50	27	543	
10,00	36	708	
12,50	45	815	
15,00	54	886	
17,50	63	937	
20,00	72	963	
22,50	81	978	
25,00	90	986	
27,50	99	991	
30,00	108	995	
32,50	117	996	
35,00	126	998	
37,50	135	999	
40,00	144	1000	
42,50	153	1000	
45,00	162	1000	

D'après ce tableau, dit le commandant Renard, un ballon dirigeable ayant une vitesse propre de $12^{m},50$ par seconde, pourrait évoluer dans tous les sens 815 fois sur 1,000, et il pourrait remonter le

---

extraits de la Conférence du commandant Renard, publiée dans la *Revue de l'Aéronautique*, 1re et 2e livraisons de 1888.

vent avec une vitesse de $2^{m},50$ par seconde, au minimum 708 fois sur 1,000.

Cette vitesse entretenue pendant dix heures fournira la solution pratique de la question.

Le ballon *la France*, avec sa vitesse de $6^{m},50$, ne pouvait remonter le vent que 700 fois environ sur 1,000 ; mais il a permis d'établir nettement les bases du problème, et l'on peut dire que le ballon filant 10 à 12 mètres est immédiatement réalisable.

*
* *

Bien des gens ne voient dans le succès des expériences de Meudon que l'emploi d'un moteur électrique. A ce compte, tout le mérite reviendrait à M. Tissandier qui, le premier, a eu l'idée de faire servir l'électricité à la locomotion aérienne.

En réalité, le genre du moteur importe peu, en dehors de l'impérieuse nécessité d'avoir un moteur léger.

Le moteur électrique a de précieux avantages : il est d'une conduite facile, d'une docilité complète ; un aéronaute le mène en agissant sur un simple commutateur.

Mais son adoption s'impose-t-elle ?

Évidemment non. Je dirai plus : quand il s'agira d'obtenir de grandes forces, les piles occuperaient une telle place et seraient si longues à garnir qu'il y faudra à peu près forcément renoncer.

On a cru faire un reproche fort grave aux expé-

riences du ballon *la France* en disant qu'il est parti par un temps calme.

Cette aéronef n'est revenue à son point de départ que parce que le vent avait une vitesse inférieure à la sienne.

Si les ballons de Giffard et de Tissandier étaient partis par un calme plat, ajoute-t-on, ils auraient, les premiers, parcouru une trajectoire fermée, et résolu le problème.

On peut répondre à cela que, si leurs premières ascensions leur avaient montré quelques chances de succès, ces ingénieux inventeurs auraient pu, avec les mêmes ballons, tenter une seconde fois l'expérience, en choisissant mieux leur moment. Mais, en tout cas, on peut énoncer ce principe, que c'est aux inventeurs à se mettre dans les conditions nécessaires au succès.

Les officiers de Chalais ont refusé énergiquement, dit-on, de partir alors que le temps n'était pas favorable : ils ont eu grandement raison; car, ayant construit un ballon filant $6^{m},20$ à la seconde, il était absurde de songer à lutter contre un vent de 10 mètres. Proposerait-on de remonter un courant de 10 nœuds avec un bateau qui n'en filerait que 6?

Le ballon *la France* est un appareil de démonstration qui, en prouvant la possibilité de la direction, a fixé les bases du problème. Des expériences faites, il résulte clairement qu'en accroissant convenablement la capacité d'un ballon semblable de formes à celui de Chalais, on pourra lui communiquer une vitesse déterminée et suffisante pour

remonter les vents régnant le plus communément.

C'est ainsi que l'aéronef dont le commandant Renard a annoncé la construction à l'Institut, cubera 3,200 mètres environ et pourra porter une machine de 35 à 40 chevaux lui imprimant une vitesse de 10 mètres par seconde.

Quand on construira les flottes aériennes à grande vitesse, il n'est pas douteux qu'on ne considère le ballon *la France* comme un *sabot* — suivant l'expression maritime — à conserver simplement à titre de curiosité historique; il n'en aura pas moins le mérite d'avoir été le premier.

Et je ne suppose pas que le bateau de Fulton ait été un bien remarquable marcheur!

XII. — **Plus lourd que l'air.**

Malgré le succès des expériences qui ont fait entrer dans une voie toute nouvelle le problème de la direction des ballons, les partisans de l'*aviation* par la seule puissance mécanique ne désarment pas.

Certes, il serait séduisant d'imiter les oiseaux. Plus lourds que l'air, ils n'en luttent pas moins victorieusement contre la pesanteur qui les précipiterait sur la terre, si leur appareil de vol n'était, par rapport à leur poids, d'une incroyable puissance.

A cette imitation servile de la nature, on peut faire une assez grave objection. Lorsqu'il s'agit, en effet, de réaliser un mouvement, la nature et l'in-

dustrie de l'homme emploient des moyens absolument différents, appropriés aux modes d'action — essentiellement différents aussi — des moteurs animés et inanimés.

Les premiers, par des phénomènes de distribution inconsciente, transmettent la force motrice, instantanément et avec des variations à l'infini, aux innombrables muscles qui la mettent en œuvre.

On a une machine qui se règle d'elle-même ; une machine *automatique :* j'allais dire *instinctive;* et la régulation se fait sentir jusque dans les parties les plus infimes, avec une promptitude et une sensibilité telles, qu'il faut renoncer à copier le modèle sous ce rapport.

On ne pourra donc obtenir qu'une imitation beaucoup plus apparente que réelle, une approximation plus ou moins grossière, puisqu'il y manquera toujours cette adaptation et cette souplesse des organes.

Si l'on supprime ces qualités essentielles de la machine animée, il ne nous reste plus qu'un moteur d'un pitoyable rendement, compliqué d'organes sans nombre.

*
* *

Ne demandons à la mécanique industrielle que ce qu'elle peut nous donner.

Au lieu d'organes extrêmement complexes auxquels il faut distribuer la force, elle cherche à réduire et à décomposer le problème en éléments

simples, susceptibles d'une solution simple, par les moyens qui lui sont propres.

En réalité, l'aile de l'oiseau est un fragment d'hélice, agissant d'un mouvement alternatif. A chaque oscillation, on doit vaincre à nouveau l'inertie, ce qui est déjà un indice de mauvais rendement. Les moyens actuels de l'industrie permettent, au contraire, de lui substituer des hélices à mouvement continu. Cette seconde classe d'appareils d'aviation s'appelle des *hélicoptères*.

Leur réalisation est à la merci de la découverte d'un moteur léger. Non plus seulement aussi léger que pour les ballons dirigeables, c'est-à-dire pesant 10 à 12 kilogrammes par cheval-heure, mais pesant seulement le maximum fabuleux de 1 kilogramme 1/2 par cheval, par exemple.

Nous sommes loin d'un pareil chiffre. Aussi, jusqu'à présent, les recherches des aviateurs les plus habiles n'ont produit que des jouets d'enfants, où la force motrice est due à un fil de caoutchouc tordu ; ce fil, en se détendant, remplit l'office d'un ressort : il n'en est pas de plus simple ni de plus léger.

Mais veut-on agrandir le modèle?

Les surfaces par lesquelles on prend appui sur l'air croissent alors comme le *carré* des dimensions, tandis que le poids mort croît comme le *cube* de ces mêmes dimensions : c'est dire que la puissance à développer augmente très rapidement.

S'il est difficile de réaliser cette partie du problème d'*élever* un appareil plus lourd que l'air, il est relativement facile de construire des engins suscep-

tibles de profiter de la réaction de l'air sur des surfaces planes convenablement aménagées, de manière à leur permettre de descendre très lentement, et même sous un angle de plus en plus aigu. Tels sont les parachutes d'où l'on passe aisément aux appareils qui se rangent dans la classe des *aéroplanes.*

Le *cerf-volant* en est un cas particulier. Il suffit de le tirer obliquement au bout d'une corde pour le voir se maintenir ou s'élever par la seule réaction de l'air; ce qui suppose que l'air est en mouvement relatif par rapport au cerf-volant, soit qu'il y ait du vent, soit que le cerf-volant lui-même se déplace.

Plus le cerf-volant est lourd, et plus la vitesse relative de l'air doit être grande pour que l'effort dû à la réaction de l'air puisse équilibrer l'effet de la pesanteur. C'est ainsi que, lorsque le vent est nul ou faible, pour maintenir un cerf-volant dans l'atmosphère, il faut marcher vite, courir même.

Supprimez la corde; remplacez sa traction par l'effort d'un propulseur agissant dans le même sens, en prenant appui sur l'air, et vous aurez une aéroplane; et, d'après ce que nous venons de dire : *Une aéroplane soutiendra un poids d'autant plus considérable et se maintiendra d'autant mieux qu'on lui imprimera une vitesse horizontale plus grande.*

On comprend en même temps qu'une aéroplane ne peut pas partir du repos. Il lui faut une *vitesse initiale.*

Cette vitesse, on peut l'obtenir en se laissant tomber de haut, ou bien en se lançant sur un plan

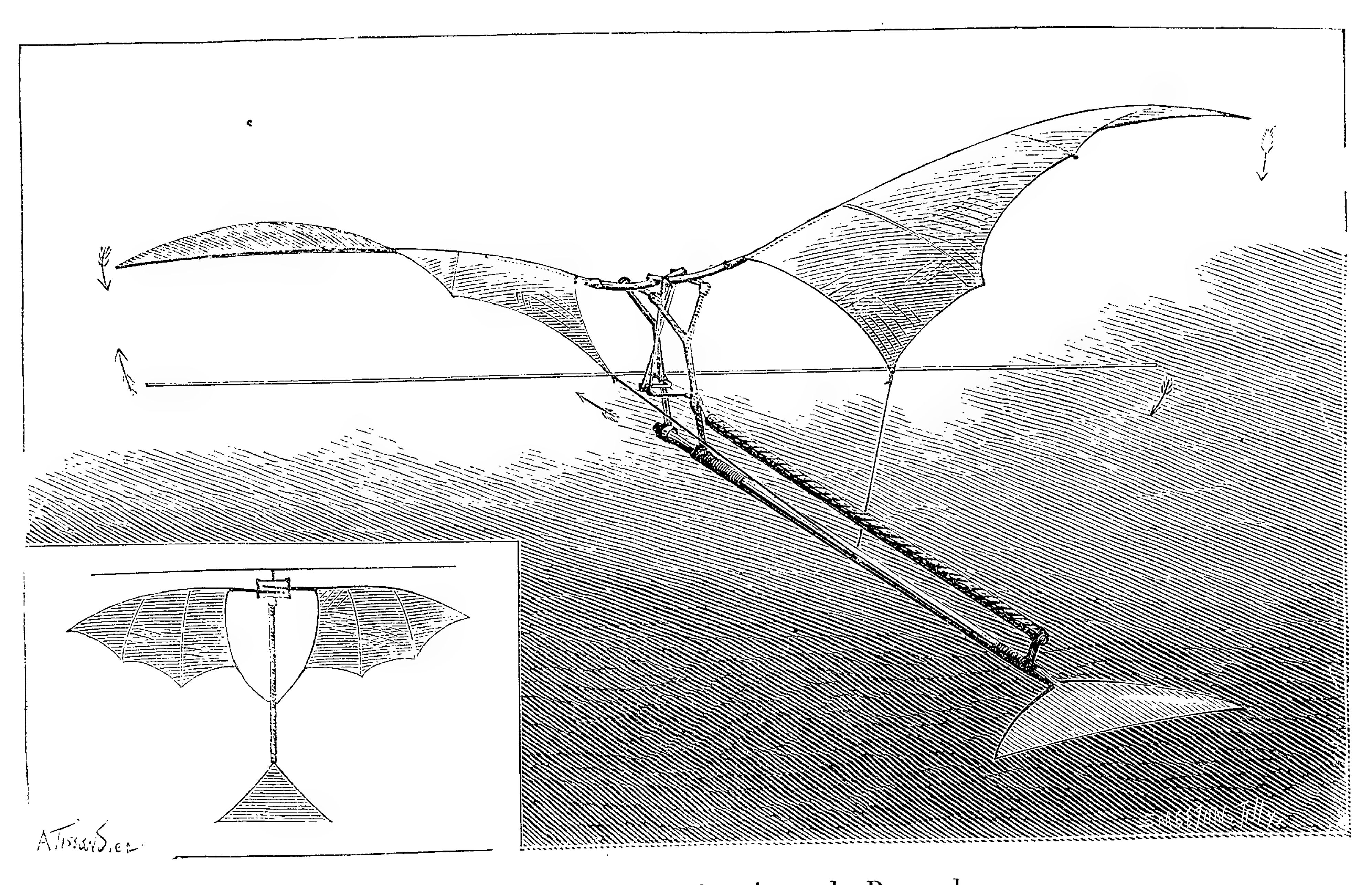


Fig. 19. — Oiseau mécanique de Penaud.

incliné, enfin en donnant à l'appareil un mouvement giratoire dont la vitesse aille en s'accélérant.

Enfin les aéroplanes ne peuvent stationner dans l'espace : comme les oiseaux, ces appareils devront planer autour du point de stationnement.

Le grand avantage des aéroplanes, c'est qu'une

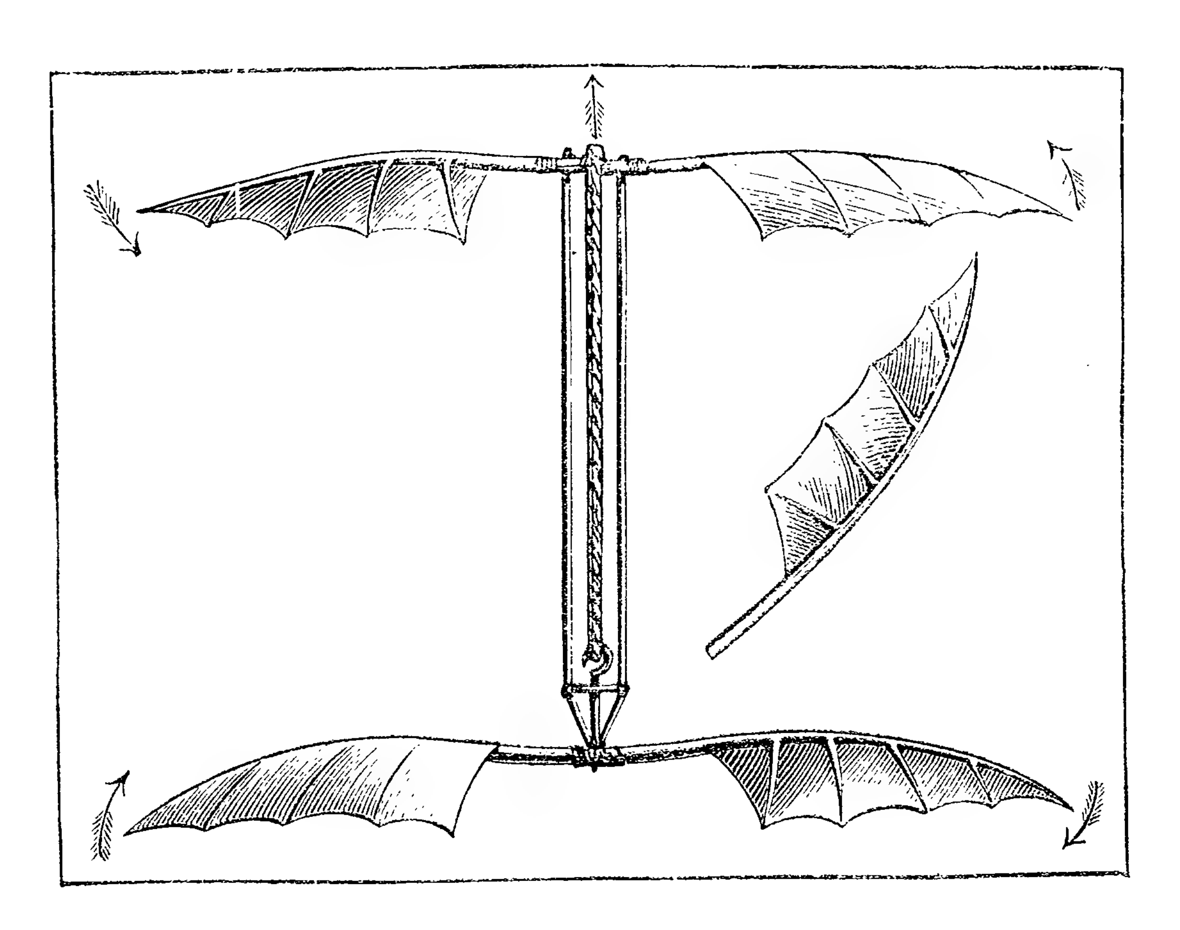


Fig. 20. — Hélicoptène.

fois leur vitesse acquise, par un des moyens puissants dont on peut disposer à terre, il suffira, pour entretenir cette vitesse et continuer longtemps le voyage, d'une force motrice relativement restreinte.

Supposons, par exemple, un appareil de 200 kilogrammes, susceptible de porter un homme.

Lancé sur une voie circulaire au moyen d'une machine supplémentaire, cette aéroplane s'échappe-

rait par la tangente dès que la vitesse serait celle d'un train express : 100 à 150 kilomètres à l'heure ne nous effrayeraient pas. On démontrerait aisément par le calcul que, pour entretenir cette vitesse, une force de 15 chevaux environ serait suffisante.

Abstraction faite des poids morts et de l'aéronaute, on pourrait donc disposer de 7 à 8 kilogrammes par cheval, ce qui devient relativement réalisable.

Je ne veux pas m'attarder davantage et décrire les dispositifs plus ou moins ingénieux qui ont été proposés, sans que le succès ait, jusqu'à présent, couronné tant d'efforts.

CONCLUSION.

Nous avons parcouru les étapes successives de la navigation aérienne et cherché surtout à bien fixer l'état actuel de la science aéronautique.

En résumé, grâce aux patientes recherches du commandant Renard, on sait maintenant diriger les ballons. On a obtenu $6^{m},50$ de vitesse à la seconde; le ballon de demain filera 10 mètres, et il serait possible, en accroissant la capacité, d'accroître encore la vitesse.

Mais la force ascensionnelle de ces géants est en grande partie absorbée par les poids morts; le poids utile enlevé est loin d'être en rapport avec la gran-

deur de l'effort; et c'est ce qui limitera l'emploi de ce genre de locomotion et exclura sans doute les usages industriels.

Les aéroplanes auront plus d'avenir, le jour où la découverte d'un moteur léger les aura fait entrer dans la pratique.

Ces appareils sont, en effet, d'autant plus avantageux qu'on les lance à plus grande vitesse. Ce sont de véritables projectiles; on peut songer sans crainte à leur imprimer les vitesses de 150 à 200 kilomètres à l'heure.

Dans ces conditions, l'aéronaute serait évidemment forcé de s'enfermer hermétiquement dans le coffre de l'aéroplane, de façon à n'être pas incommodé par ces vertigineuses vitesses.

Je n'ose dire encore que les gros frets déserteront nos flottes maritimes; mais quelles facilités de communication, quand ces courriers d'un genre nouveau pourront porter nos lettres de Paris à Marseille en cinq ou six heures!

La malle des Indes gagnera la moitié du temps de son parcours; l'Océan sera franchi d'une seule traite, en neuf ou dix heures, et l'on verra, malgré les Touaregs, la réalisation du rêve des promoteurs du Transaharien!

Voilà ce que l'on verra. Faut-il promettre ces merveilles pour demain? Vous me trouveriez trop optimiste. Mais la prodigieuse aptitude de ce siècle aux découvertes scientifiques et industrielles nous a habitués à de telles surprises, qu'après l'éclosion de cette admirable électricité qui vient d'accomplir

comme une révolution dans nos mœurs, nous ne saurions nous étonner si quelque Édison ou quelque Renard annonçait, un de ces jours, à l'Institut qu'il vient d'arriver à Tombouctou — en aéroplane.

FIN.

l'ignorance de ceux trop nombreux, hélas ! de ses adeptes, qui semblent avoir pris à tâche de la déconsidérer, ne sont parvenus à la faire sombrer dans l'oubli, et n'ont réussi qu'à retarder, pendant près d'un siècle il est vrai, le puissant essor qu'elle prend enfin aujourd'hui.

Les vagues notions, les conceptions rudimentaires et les utopies des empiriques, les supercheries des acrobates, commencent à disparaître devant les expérimentations consciencieuses guidées par l'esprit mathématique, grâce auquel l'Aéronautique pourra désormais prendre parmi les sciences exactes la place importante qui lui est réservée.

Nous avons cru pouvoir aider cette heureuse tendance et contribuer efficacement au rapide développement de cette branche si intéressante des connaissances humaines, par la création d'une *Revue*, fermée à tout ce qui n'est pas du domaine de la science pure.

Dans ce but, et afin de nous conformer à la rareté actuelle des études spéciales d'une valeur incontestable, nous avons dû adopter provisoirement le mode trimestriel de périodicité, nous réservant de faire paraître notre *Revue* à intervalles plus rapprochés dès que l'état de la science aéronautiqne nous y autorisera. Nous ne pensons nullement d'ailleurs qu'il soit sage de souhaiter pour une publication comme la nôtre une fréquence de périodicité dont les exigences excluent le plus souvent toute possibilité d'effectuer un choix rigoureux des travaux à présenter au public.

Persuadés que la connaissance des recherches et des expériences exécutées à l'étranger présente un intérêt capital pour l'avancement de la science, nous donnerons une importante extension à l'examen des travaux aéronautiques universels et des découvertes ou innovations susceptibles de contribuer au perfectionnement de la Navigation aérienne.

En ce qui concerne la partie matérielle de notre *Revue*,

chacune de nos livraisons contiendra de 28 à 40 pages de texte selon l'affluence ou l'étendue des communications dignes d'intérèt. Le grand format que nous avons choisi a pour but de permettre l'insertion des gravures, des diagrames et des reproductions en glyptographie de grandes dimensions que nous aurons occasion de publier.

Nous avons mis tous nos soins à obtenir une publication d'un aspect agréable, d'une lecture facile et d'une exécution irréprochable. Au lecteur de juger si nous y avons réussi.

1842-88. — Corbeil. Imprimerie Crété.